

البيولوجيا الجزيئية

الفصل 1 الحمض النووي DNA والمعلومات الوراثية

الفصل 2 الأحماض النووية وتخليق البروتين

الفصل الأول 1

الحمض النووي DNA والمعلومات الوراثية

أهداف الفصل

في نهاية هذا الفصل ينبغي أن يكون الطالب قادرًا على أن

- يتعرف دور العلماء في معرفة مادة الوراثة.
- يتعرف تركيب الحمض النووي DNA.
- يتعرف كيفية تضاعف DNA وأهمية ذلك بالنسبة للخلايا.
- يقدر دور العلماء في التوصل إلى تركيب لولب DNA وتضاعفه.
- يستنتج الفروق بين DNA في أوليات وحقيقيات النواة.
- يتخيل طول DNA وكيف يتم تكثيفه ليشغل حيزاً
- صغيراً بالنواة. يتعرف تركيب المحتوى الجيني.
- يتعرف الطفرات وأنواعها.
- يكتشف أسباب الطفرة ونواتجها.

الدرس 1: جهود العلماء لمعرفة المادة الوراثية للكائن الحي

الدرس 2: الحمض النووي DNA

الدرس 3: تابع الحمض النووي DNA

أهم المفاهيم

- البيولوجيا الجزيئية
- الجينات.
- التحول البكتيري.
- البوليمرات.
- أوليات النواة.
- حقيقيات النواة.
- الكروماتين.
- النيوكليوسومات.
- المحتوى الجيني.
- DNA المتكور.

الفصل 1 الـــدرس الأول

جهود العلماء لمعرفة المادة الوراثية للكائن الحي

التمهيـــد

✦ هل تساءلت يوما: مـا الخصائـص التي تجعلـك مميـزًا عـن زملائـك فـي المدرسـة ؟ قـد يكـون شـعرك المجعـد أو لـون بشـرتك أو لـون عينيـك. هـل شـاركك أحـد أفـراد عائلتـك هـذه الصفـات ؟ أُنظـر مـن حولـك، مـا الصفـات التي يتقاسـمها أفـراد العائـلات الأخرى ؟ هنـاك عـدد كبيـر مـن العائـلات الحيـوانية – أيضا– مثل الدببـة والبـوم والذئـاب والخنازيـر والكثيـر غيرهـا، لماذا يتشـابه أفـراد كل عائلـة مـن هـذه العائـلات ؟

– يتساءل كل والدين ينتظـران مولـودًا جديـدًا كيـف سـيبدو طفلهمـا. هـل سـيكون صبيًّـا أم فتاة ؟ هـل سيشـبه أنفـه أنـف أبيـه أم أمـه ؟ هـل سـيكون لـون عينيـه أزرقَ أم بنيًّـا ؟ هـل سـيولد بصحـة جيـدة ؟

- في الماضي، ما كان للوالدين سوى أن يتوقعا الإجابات عن هذه الأسئلة.
- أما اليـــوم، فأصبحا يملكان كمًّا من المعلومات تســـاعدهما على توقع بعض الصفات التـــي قد يحملها طفلاهما وذلك من خلال أحد مجالات العلوم الحديثة والذي يســـمى «علـــم البيولوجيا الجزيئية Molecular Biology».

علم البيولوجيا الجزيئية

أحد مجالات العلم الحديث الذي يهتم بدراســـة الأســـاس الجزيئي للوراثة DNA وهو يتقدم بســـرعة كبيرة جدًا.

والآن تعالوا نتعرف معًا على بعض المفاهيم الهامة قبل التعمق قليلًا في بعض فروع هذا العلم الرائع !

✪ يمكن تقسيم الكائنات الحية إلى نوعين أساسيين هما:

1. أوليـات النـواة: تكـون مادتهـا الوراثيـة غيـر محاطـة بغشـاء نـووي يفصلهـا عـن السـيتوبلازم، مثـل: البكتيريـا.
2. حقيقيـات النـواة: تكـون مادتهـا الوراثيـة محاطـة بغشـاء نـووي يفصلهـا عـن السـيتوبلازم والعضيـات الخلويـة، مثـل: خلايـا الإنسـان.

✪ تحتـوي خلايـا حقيقيـات النـواة علـى نـواة يوجـد بداخلهـا المـادة الوراثيـة فـي صـورة كروماتيـن أو كروموسـومات حسـب الوضـع الانقسـامي للخليـة كالتالـي:

	في الوضع الطبيعي (غير الانقسامي)	في الوضع الانقسامي للخلية
التوضيح	تتواجـد المـادة الوراثيـة فـي صـورة شـبكة متداخلـة مـن الحمـض النـووي DNA ومجموعـات مختلفـة مـن البروتينـات تعـرف مجتمعـة بـ«الكروماتيـن».	تنتظم المـادة الوراثيـة فـي صـورة أجسـام عصويـة يمكن رؤيتها تحـت الميكروسـكوب بعـد صبغهـا بصبغـة خاصـة فـي صـورة أجسـام ملونـة تعـرف بـ«الكروموسـومات أو الصبغيـات» وتكـون أكثـر وضوحًـا فـي الطـور الاسـتوائي أثنـاء انقسـام الخليـة.
الشكل	كروماتين جسم مركزي (سنتريولان)	الكروموسومات (الصبغيات)

التركيب الكيميائي للكروموسومات

✪ استطاع العلماء عزل الكروموسومات من الخلايا المختلفة وتحليلها للتعرف على تركيبها الكيميائي ودراسة خصائصها بواسطة عدة طرق مختلفة نستنتج منها ما يلي:

تتكون الكروموسومات من وحدات بنائية كبيرة تعرف بـ"البوليمرات" يتكون كل منها من ارتباط عدة وحدات بنائية أصغر تعرف بـ(المونيمرات)، وهي أحد مركبين أساسيين هما:

1. **الحمض النووي DNA** (بوليمر) يتكون من ارتباط عدد كبير من النيوكليوتيدات (مونيمر).
2. **البروتين** (بوليمر) يتكون من ارتباط عدد كبير من الأحماض الأمينية (مونيمر).

✪ وقد لاحظ العلماء أن كل تتابع معين من الوحدات البنائية على الكروموسومات يتحكم في إظهار صفة وراثية معينة مثل صفة لون العيون والتي تنتقل من جيل لآخر وقد أطلق العلماء على هذه الوحدات مصطلح «الجينات».

الجين

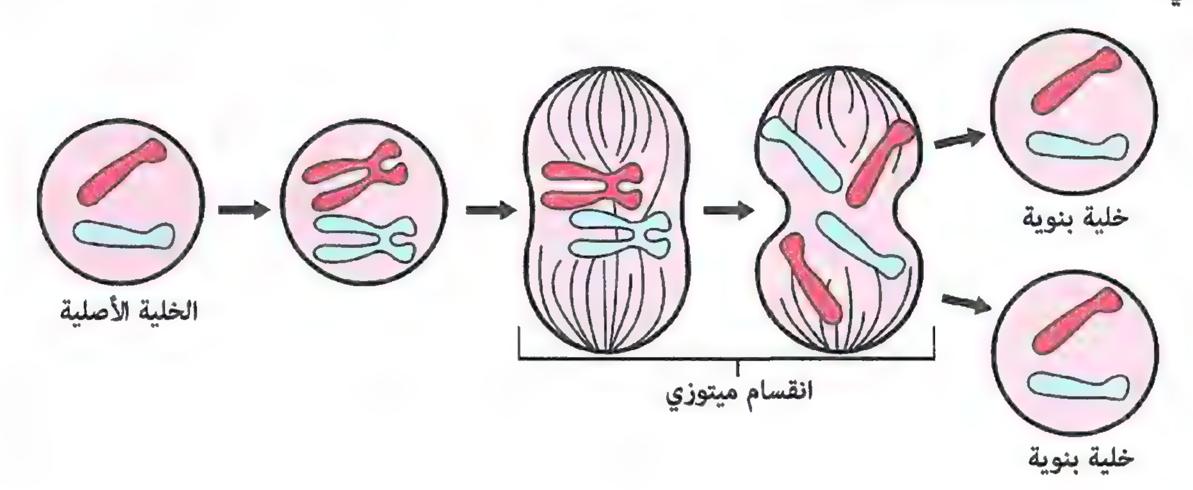
تتابع من النيوكليوتيدات على الحمض النووي مسئول عن إظهار صفة وراثية معينة عن طريق تصنيع بروتين محدد مثل جين تكوين هرمون الإنسولين.

كروموسوم
نواة
خلية حقيقية النواة
بروتين
DNA
T A G C A C T G A C C G T
جين

التركيب الكيميائي للمادة الوراثية

✪ اعتقاد العلماء أن الصبغيات هي التي تحمل المعلومات الوراثية ... فسر ؟

- لأنه أثناء الانقسام الميتوزي للخلية تنفصل الصبغيات إلى مجموعتين متماثلتين بحيث يصبح لكل خلية ناشئة عن الانقسام نفس عدد الصبغيات الموجودة في الخلية الأصلية وهذا دليل على أن الصبغيات هي التي تحمل المعلومات الوراثية.



✪ نستنتج مما سبق أن المادة الوراثية تنتظم في صورة كروموسومات تتكون من مزيج من البروتينات والحمض النووي DNA وكل تتابع من هذه الوحدات ينتج عنه جين معين مسئول عن إظهار صفة خاصة به. من هنا بدأ العلماء يسألون أنفسهم أي أجزاء الكروموسومات (البروتينات أم الأحماض النووية) هي التي تحمل المعلومات الوراثية وتنتقل من خلالها من جيل لآخر ؟

- وللإجابة على هذا السؤال قام العلماء بالعديد من التجارب والأبحاث في محاولة لترجيح أحدهما على الآخر على النحو التالي:

✦ كان يعتقد أن البروتين هو المادة الوراثية وليس DNA في بادئ الأمر .. فسر ؟
وذلك للأسباب التالية:

البروتينات	DNA
يدخل في تركيبها ٢٠ نوع من الأحماض الأمينية المختلفة، والتي تتجمع معًا بطرق مختلفة لتعطي عددًا لا حصر له من المركبات البروتينية المختلفة بما يتناسب مع تنوع الصفات الوراثية.	يدخل في تركيبه ٤ نيوكليوتيدات فقط.

✦ في أربعينات القرن الماضي ظهر خطأ هذا الاعتقاد وأثبتت الأدلة أن المادة الوراثية هي DNA وليس البروتين مما أدي إلى قيام العلماء بدراسة الأساس الجزيئي للوراثة والذي يطلق عليه عادةً اسم البيولوجيا الجزيئية.

الأدلة على أن DNA هو المادة الوراثية

1. التحول البكتيري Bacterial transformation
2. لاقمات البكتريا (البكتيريوفاج) Bacteriophages
3. كمية DNA في الخلايا The amount of DNA in cells

والتي تتمثل في :
- تجربة العالم جريفث Griffith
- العالم افري Avery وزملاؤه
- التجربة الحاسمة

وفيما يلي تفصيل ذلك:

١ التحـول البكتيـري Bacterial transformation

تجربة (١) تجربة العالم جريفث Griffith

- في القرن العشرين تفشى مرض الالتهاب الرئوي في لندن وكان الطبيب البريطاني جريفث من أوائل الباحثين عن آلية حدوث هذا المرض في محاولة لاكتشاف علاج أو لقاح مناسب.
- عام ١٩٢٨م قام جريفث بدراسة سلالتين من البكتيريا المسببة للالتهاب الرئوي على الفئران ويمكن المقارنة بينهما كالتالي:

سلالة البكتيريا S	سلالة البكتيريا R
ناعمة الملمس Smooth	خشنة الملمس Rough
تحيط نفسها بغلاف عازل يحميها من مهاجمة خلايا الدم البيضاء لها	لا تستطيع إحاطة نفسها بغلاف عازل لذا يسهل بلعمتها بواسطة خلايا الدم البيضاء
تسبب التهاب رئوي حاد يؤدي إلى موت الفئران.	تسبب التهاب رئوي فقط ولا ينتج عنها موت الفئران.



خطوات التجربة:

	الخطوة الأولى	الخطوة الثانية	الخطوة الثالثة	الخطوة الرابعة
الحقن	حقن مجموعة من الفئران بسلالة بكتيريا (S).	حقن مجموعة من الفئران بسلالة بكتيريا (R).	حقن مجموعة من الفئران بسلالة بكتيريا (S) سبق قتلها حراريًا.	حقن مجموعـة مـن الفئـران بسـلالة بكتيريا (S) سبق قتلها حراريًا مع سلالة بكتيريا (R) حية.
الأشكال التوضيحية	سلالة البكتيريا (S) «المميتة»	سلالة البكتيريا (R) «غير المميتة»	سلالة البكتيرية (S) مقتولة حراريًا	سلالة البكتيريا (S) مقتولة حراريًا + سلالة البكتيريا (R)
المشاهدة	إصابة الفئران بالالتهاب الرئوي الحاد ثم موتها.	إصابة الفئران بالالتهاب الرئوي وعدم موتها.	عدم موت الفئران.	موت بعض الفئران وعند فحص تلك الفئران الميتة وجد بها بكتيريا (S) حية.
الاستنتاج	المـــادة الوراثية الخاصة بســـلالة البكتيريا (S) انتقلت إلى داخل ســـلالة البكتيريـــا (R) فتحولت إلى ســـلالة (S) المميتة وأطلق جريفث على هذه الظاهرة اســـم «التحـــول البكتيري».			
قصور نتائج التجربة	عجز جريفث عن تفسير انتقال المادة الوراثية من البكتيريا (S) إلى البكتيريا (R).			

التحول البكتيري

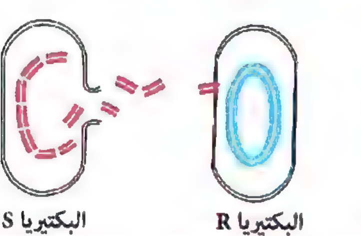
تحول ســـلالة البكتيريـــا (R) غير المميتة إلى ســـلالة البكتيريا (S) المميتـــة نتيجة انتقال المـــادة الوراثية إليها.

تجربة (٢) العالم إفري Avery وزملاؤه

الخطوات	❶ قام إفري وزملاؤه بعزل مـــادة التحـــول البكـتيـــري التي تسببت في تحول سلالة البكتيريا (R) إلى ســـلالة البكتيريـــا (S) المميتة. ❷ قاموا بتحليل مـادة التحـول البكـتيـري.
الاستنتاج	مادة التحول البكتيري ظاهريًا هي DNA.

التفسير العام للتحول البكتيري

سلالــة البكتيــريا (R) قــد امتصــت DNA الخــاص بسـلالة البكتيــريا (S) -وذلـك بطريقـة غير معروفـة حتـى الآن- فاكتســبت خصائصهــا .



الاعتراض على أن DNA هو المادة الوراثية

الجـزء مـنDNA الـذي سـبب التحــول البكـتيـري لـم يكـن نقيًـا تمامًـا؛ لأنــه كان يحمـل كميـة مـن البروتيـن يحتمـل أن تكـون السـبب فـي إحـداث هـذا التحـول.

تجربة (٣) التجربة الحاسمة

الخطوات	❶ تــم معاملة المادة النشـــطة المنتقلـــة (DNA + البروتينات) المســـئولة عن التحـــول البكتيري بإنزيم دي أكســـي ريبونيوكليـــز (Deoxyribonuclease) الذي له القـــدرة على تحليل جزيء DNA تحليلاً كامـــلًا، ولا يؤثر علـــى البروتينات أو RNA. ❷ تم نقل المادة إلى سلالة البكتيريا (R) غير المميتة.
المشاهدة	لم تتحول سلالة البكتيريا (R) غير المميتة إلى سلالة البكتيريا (S) المميتة.
التفسير	تتوقف عملية التحول البكتيري نتيجة لغياب مادة DNA التي تحللت.
الاستنتاج	DNA هو المادة الوراثية وليس البروتين.

أسئلة الأداء الذاتي:

❶ بعد دراسة الشكل التالي :



ما تفسيرك لعدم ظهور أعراض الالتهاب الرئوي على الفأر الموضح بالشكل ؟
Ⓐ حقن الفأر ببكتيريا من السلالةR غير المميتة لم يسبق له الإصابة بها
Ⓑ حقن الفأر ببكتيريا من السلالةS غير المميتة التي سبق له الإصابة بها
Ⓒ حقن الفأر ببكتيريا من السلالة S حدث لها تحول بكتيري إلى السلالة R
Ⓓ حقن الفأر ببكتيريا من السلالة R غير المميتة التي سبق له الإصابة بها

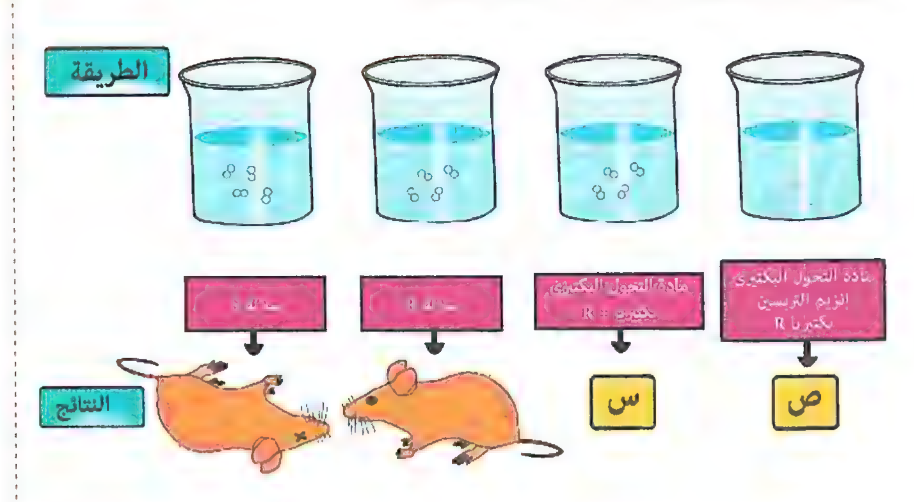
٢ في الشكل التالي، ما المتوقع حدوثه للفأرين (س) و(ص) بناءً على خلاصة تجربة جريفيث ؟

(أ) يعيش (س) ويموت (ص)

(ب) يموت (س) ويعيش (ص)

(ج) يعيش كلا الفأرين

(د) يموت كلا الفأرين

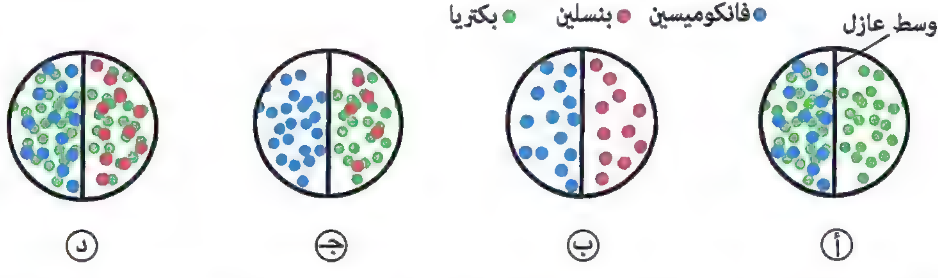


٣ أجريت تجربة معملية على سلالتين مختلفتين من البكتيريا :

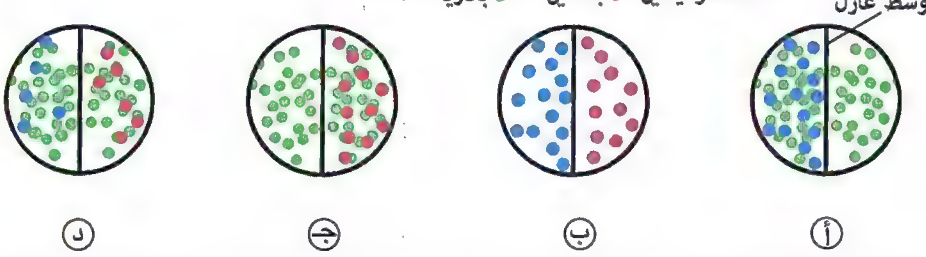
- البكتيريا (A) : لها القدرة على تكوين إنزيم يحلل المضاد الحيوي البنسلين.
- البكتيريا (B) : لها القدرة على تكوين غلاف بروتيني يمنع وصول المضاد الحيوي الفانكوميسين إليها.
- عوملت كل منهما بعوامل محددة تسمح بتبادل الجينات الخاصة بالمضادات الحيوية بينهما عن طريق التحول البكتيري، وتم عزل عينات مختلفة من البكتيريا وزراعتها في وسط ملائم (أطباق زراعة البكتيريا) لدراسة تأثير التغير الوراثي على صفات البتكيريا.

في ضوء ذلك أجب عما يأتي :

(١) أي البدائل التالية تمثل النتيجة المتوقعة عند زراعة البكتيريا (A) على وسط (طبق) الزراعة ؟



(٢) أي البدائل التالية تمثل النتيجة المتوقعة عند زراعة البكتيريا الناتجة من التحول البكتيري على وسط (طبق) الزراعة ؟



٢ لاقمات البكتريا (البكتيريوفاج - الفاج) Bacteriophages

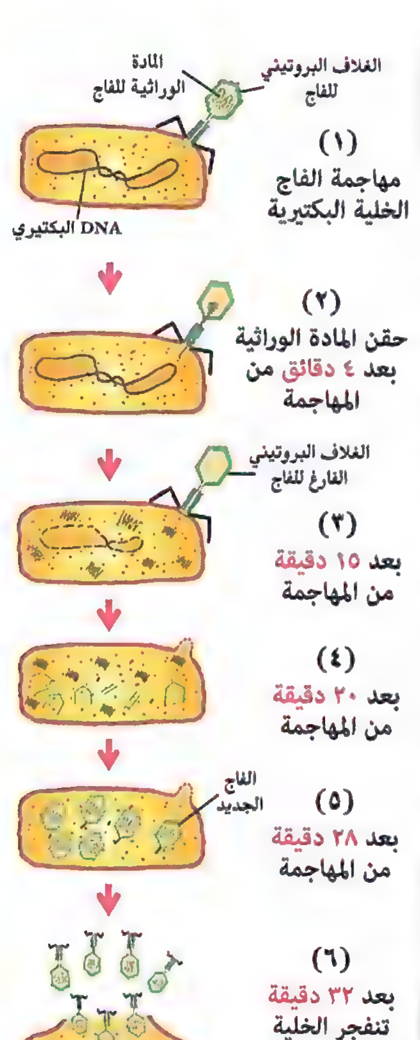


تركيب البكتيريوفاج

- **التصنيف:** ڤيروس متطفل (لا ينتمي لأوليات النواة أو حقيقيات النواة).
- **المحتوى الوراثي:** محتواه الوراثي عبارة عن DNA مزدوج في معظم الأنواع.
- **التركيب:** يتركب من مادة وراثية محاطة بغلاف بروتيني في صورة رأس وذيل حلزوني يمتد منه قطعة ذيلية مدببة لأسفل تساعده في مهاجمة الخلايا البكتيرية والتكاثر بداخلها.
- **الأهمية البيولوجية:** استخدمه بعض علماء البيولوجيا الجزيئية لإثبات أن الحمض النووي هو المادة الوراثية وليس البروتين في بعض التجارب التي أجريت على البكتيريا.

مراحل تكاثر البكتيريوفاج داخل الخلية البكتيرية:

المرحلة	الوصف
الالتصاق (مهاجمة الفاج للخلية البكتيرية)	• يهاجم الڤيروس الخلية البكتيرية ويتصل بها عن طريق الذيل. • يفرز الذيل إنزيمات محللة تذيب جدار الخلية البكتيرية وتصنع بها ثقوب.
حقن المادة الوراثية (بعد ٤ دقائق من المهاجمة)	• تنفذ المادة الوراثية للڤيروس داخل الخلايا البكتيرية. • يؤثر الفيروس على المادة الوراثية للخلية البكتيرية ويسخرها لمضاعفة مادته الوراثية باستخدام إنزيمات الخلية البكتيرية أو يجبرها على تصنيع إنزيماته.
تضاعف المادة الوراثية للفيروس (بعد ١٥ دقيقة من المهاجمة)	• يدمر الڤيروس المادة الوراثية الخاصة با لبكتير يا . • تتضاعف أعداد المادة الوراثية الخاصة با لڤير و س .
تكوين الغلاف البروتيني الخاص بالفيروس (بعد ٢٠ دقيقة من المهاجمة)	• يوجه الڤيروس الخلية البكتيرية لاستخدام جيناته في تصنيع غلاف بروتيني خاص به.
الانفجار (بعد ٣٢ دقيقة من المهاجمة)	• تنفجر الخلية البكتيرية ويتحرر منها حوالي ١٠٠ ڤيروس جديد مكتمل التكوين استعدادا لإصابة خلية بكتيرية جديدة.



- **الاستنتاج:** انتقال مادة (أو مجموعة مواد) تحتوي على چينات الڤيروس منه إلى الخلية البكتيرية تحفزها على تكوين فيروسات جديدة مكتملة التكوين خلال فترة زمنية قصيرة.

تجربة العالمين هيرشي وتشيس Hershy and Chase

استغل العالمان هيرشي وتشيس بعض الحقائق العلمية لإجراء تجربتهما:

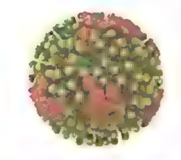
- DNA: يدخل في تركيبه الفوسفور ولا يدخل في تركيبه الكبريت.
- البروتين: قد يدخل في تركيبه الكبريت ولا يدخل في تركيبه الفوسفور.
- خطوات التجربة:

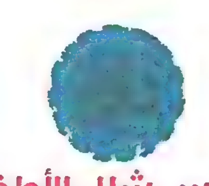
	الخطوة الأولى	الخطوة الثانية
الترقيم	قاما بترقيم DNA الفيروسي بالفوسفور المشع وسمحا لهذا الفيروس بمهاجمة البكتيريا.	قاما بترقيم البروتين الفيروسي بالكبريت المشع وسمحا لهذا الفيروس بمهاجمة البكتيريا.
الأشكال التوضيحية	DNA المشع فيروس الفاج بكتريا	البروتين المشع فيروس الفاج بكتريا
الكشف	قاما بالكشف عن الفوسفور المشع داخل وخارج الخلية البكتيرية.	قاما بالكشف عن الكبريت المشع داخل وخارج الخلية البكتيرية.
المشاهدة	كل الفوسفور المشع تقريبًا قد انتقل إلى داخل الخلية البكتيرية، دليل على وصول كلDNA الفيروسي تقريبًا.	أقل من ٣٪ من الكبريت المشع قد انتقل إلى داخل الخلية البكتيرية دليل على عدم وصول أغلب البروتين الفيروسي.
الاستنتاج	• DNA الفيروسي يدخل إلى الخلية البكتيرية ويدفعها إلى بناء فيروسات جديدة. • DNA هو المادة الوراثية وليس البروتين.	

- مما سبق نستنتج من تجارب التحول البكتيري والتجارب التي أجريت على الفاج أن الچينات على الأقل الخاصة بسلالات بكتيريا الالتهاب الرئوي وفيروسات الفاج تتكون من DNA.
- ونلاحظ أن هذه الاستنتاجات قصرت على الكائنات الحية التي أجريت عليها هذه التجارب..

، والسؤال الآن: هل كل الكائنات الحية محتواها الچيني DNA ؟

والإجابة: بالنفي؛ لأن هناك بعض الفيروسات (مثل: فيروس الإنفلونزا، وشلل الأطفال، والإيدز، والكورونا) لا يدخل DNA في تركيبها بل ثبت أن RNA هو المادة الوراثية في هذه الفيروسات، إلا أن هذه الفيروسات بالتأكيد تشذ عن القاعدة حيث إنها تكون جزءًا صغيرًا من صور الحياة، ولكن كل الدراسات التي أجريت حتى الآن أكدت على أن DNA هو المادة الوراثية لمعظم الأحياء.


فيروس الإنفلونزا


فيروس شلل الأطفال



فيروس الإيدز

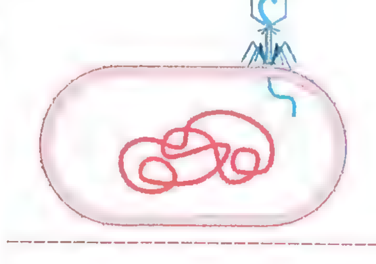

فيروس الكورونا

٣ كمية DNA في الخلايا The amount of DNA in cells

	DNA	البروتين
الكمية داخل الخلايا الجسدية	كمية DNA متساوية في أنواع مختلفة من الخلايا الجسدية لنفس الكائن الحي مثل الدجاج.	كمية البروتينات غير متساوية في نفس الخلايا.
الكمية داخل الخلايا الجنسية (الأمشاج)	كمية DNA في خلايا الأمشاج تعادل نصف كمية DNA في الخلايا الجسدية لنفس الكائن الحي وحيث إن الفرد الجديد ينتج من اتحاد مشيج مذكر مع مشيج مؤنث يجب أن يحتوي كل مشيج على نصف المعلومات الوراثية.	لا ينطبق ذلك على البروتين حيث تختلف كمية البروتينات داخل الخلايا الجنسية عن الخلايا الجسدية وليس بالضرورة أن تحتوي على نصف كمية البروتينات الموجودة في الخلايا الجسدية.
عمليات الهدم والبناء	تركيب ثابت بشكل واضح داخل الخلية (لا يتحلل).	يتم هدمها وإعادة بنائها باستمرار داخل الخلايا.

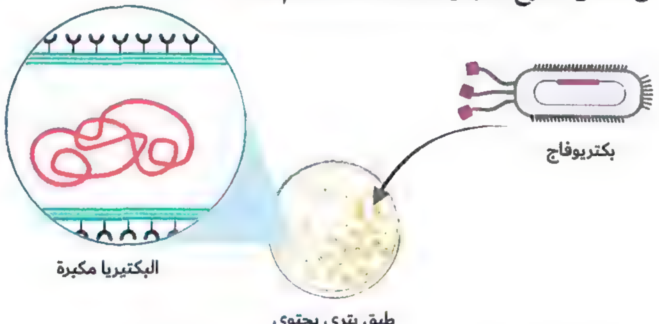
أسئلة الأداء الذاتي:

٤ من خلال دراستك للشكل المقابل،
يدل حدوث العملية الموضحة بالشكل على ....



(أ) نجاح انتقال إنزيمات التضاعف من الفيروس إلى الخلية البكتيرية
(ب) وجود مستقبلات للفيروس على السطح الخارجي للخلية البكتيرية
(ج) تماثل المحتوى الوراثي الخاص بكل من الفيروس والخلية البكتيرية
(د) اكتمال عملية تضاعف DNA الفيروسي داخل الخلية البكتيرية

٥ في التجربة الموضحة بالشكل المقابل تم إضافة عدد من فيروسات البكتيريوفاج الموضحة بالشكل إلى طبق بتري يحتوي على عدد من البكتيريا من نفس النوع، ادرس الشكل جيدًا ثم أجب :



أي الأشكال التالية تعبر عن شكل الطبق البتري بعد مرور ساعتين من إضافة الفيروسات للوسط ؟



٦ الشكل المقابل يوضح نتيجة تجربة تم فيها إضافة عدد من فيروسات البكتيريوفاج التي سبق ترقيمها بالكبريت المشع والفوسفور المشع إلى طبق بتري يحتوي على خلايا بكتيرية متماثلة، ادرس الشكل جيدًا ثم أجب :

أي الأشكال التالية تعبر عن نسبة الفيروسات التي نجحت في التضاعف داخل البكتيريا والفيروسات التي لم تنجح في ذلك ؟

الكبريت المشع – الفسفور المشع

نسبة الفيروسات الناجحة

نسبة الفيروسات الفاشلة

Ⓐ D　Ⓑ C　Ⓒ B　Ⓓ A

٧ جميع العبارات التالية صحيحة ماعدا ....

Ⓐ كمية DNA متساوية في خلايا نفس النسيج للنوع الواحد

Ⓑ كمية البروتين غير متساوية في خلايا نفس النسيج للنوع الواحد

Ⓒ كمية DNA متساوية في خلايا نفس النسيج لأنواع مختلفة

Ⓓ كمية DNA متساوية في خلايا الأنسجة المختلفة للنوع الواحد

٨ تتساوي كمية DNA في الخلايا الجنسية مع كمية DNA في الخلايا الجسدية في جميع الحالات التالية ماعدا ....

Ⓐ التوالد البكري الطبيعي في أنثى حشرة المن

Ⓑ التكاثر الجنسي بالأمشاج في نبات الفوجير

Ⓒ التوالد البكري الطبيعي في ملكة نحل العسل

Ⓓ التكاثر الجنسي بالأمشاج في ذكر نحل العسل

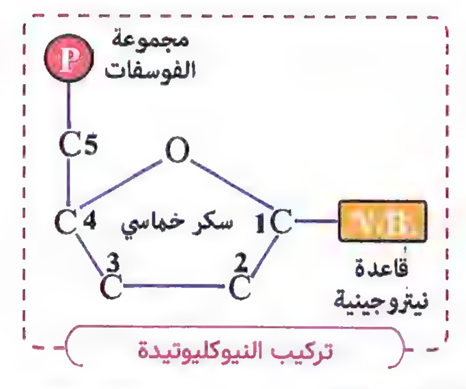
الحمض النووي DNA (I)

التمهيد

- تعرفنا في الدرس السابق على محاولات العلماء المستمرة في التوصل لأصل تركيب المادة الوراثية في خلايا الكائنات الحية من خلال عدة تجارب علمية تقوم على مبدأ الشك وإثبات الحجة بالدليل.
ولكن منذ أوائل الخمسينات من القرن الماضي أصبح هناك أدلة قوية تكفي لاعتبار DNA يحمل المعلومات الوراثية الخاصة بالخلية.
- وفي هذا الدرس نستكمل معا جهود العلماء للتعرف على تركيب DNA ووضع نموذج له وتحديد خصائصه وآلية عمله في إظهار الصفات الوراثية والمقارنة بين المحتوى الوراثي في أوليات النواة وحقيقيات النواة.

تركيب DNA

- تمكن العلماء من عزل الحمض النووي واستخدام آليات الطرد المركزي والتحليل البيوكيميائي لدراسة التركيب الكيميائي للحمض النووي DNA **ومن ذلك نستنتج أن:**
  - DNA عبارة عن بوليمر يتكون من ارتباط عدد كبير من وحدات بنائية أصغر (مونيمرات) تسمى «نيوكليوتيدات».
  - تتكون كل نيوكليوتيدة من سكر خماسي ومجموعة فوسفات وقاعدة نيتروجينية كالتالي:



تركيب النيوكليوتيدة

سكر خماسي الكربون (سكر دي أكسي ريبوز)

- مركب عضوي يتكون من ارتباط عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين.
- يوجد في صورة حلقة خماسية الشكل تتكون زواياها من ٤ ذرات كربون وذرة أكسجين.
- ترقم ذرات الكربون من (١) إلى (٥) في اتجاه عقارب الساعة.
- تمتد ذرة الكربون رقم (٥) خارج الحلقة الخماسية وترتبط بذرة الكربون رقم (٤) برابطة تساهمية.
- يختلف عن سكر الريبوز(سكر أحادي) في نزع ذرة أكسجين واحدة من ذرة الكربون رقم (٢) لذا يعرف الـDNA بالحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين Deoxy-ribo-Nucleic-Acid.

مجموعة فوسفات

- مجموعة كيميائية سالبة الشحنة مشتقة من حمض الفوسفوريك H_3PO_4.
- ترتبط بذرة الكربون رقم (٥) في السكر الخماسي برابطة تساهمية.
- تكون مع جزيئات السكر نمطًا متبادلاً عرف فيما بعد بـ"هيكل السكر والفوسفات" في شريط DNA.

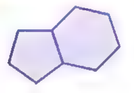
قاعدة نيتروجينية	• مركب حلقي معقد غني بعنصر النيتروجين. • ترتبط بذرة الكربون رقم (١) في السكر الخماسي برابطة تساهمية. • تخـزن عليهـا المعلومـات الوراثيـة التـي يتـم ترجمتهـا إلـى صفـات مثـل صفــة لــون العيــون.

ملحوظات

• جزيئات الســكر والفوســفات متماثلة فــي جميع النيوكليوتيــدات، بينما تختلف القواعــد النيتروجينية مــن نيوكليوتيدة لأخرى وهذا الاختــلاف يعزي إليه اختــلاف الجينــات والمعلومات الوراثية مــن فرد لآخر.

✪ القواعد النيتروجينية التي تدخل في تركيب الأحماض النووية قد تكون أحد مشتقات:

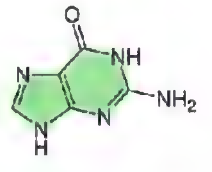




• ذات حلقتين (حلقة خماسية وحلقة سداسية).
• أكبر حجمًا.
• تشغل مساحة أكبر من تركيب DNA.
• أقل ثباتًا.

أمثلة

الأدنين A
(يدخل في تركيب DNA وRNA)



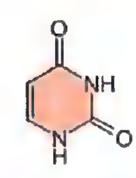
الجوانين G
(يدخل في تركيب DNA وRNA)

البريميدينات Pyrimidines

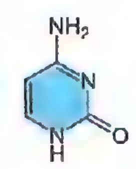
• ذات حلقة واحدة (حلقة سداسية).
• أقل حجمًا.
• تشغل مساحة أقل من تركيب DNA.
• أكثر ثباتًا.

أمثلة

الثايمين T
(يدخل في تركيب DNA فقط)



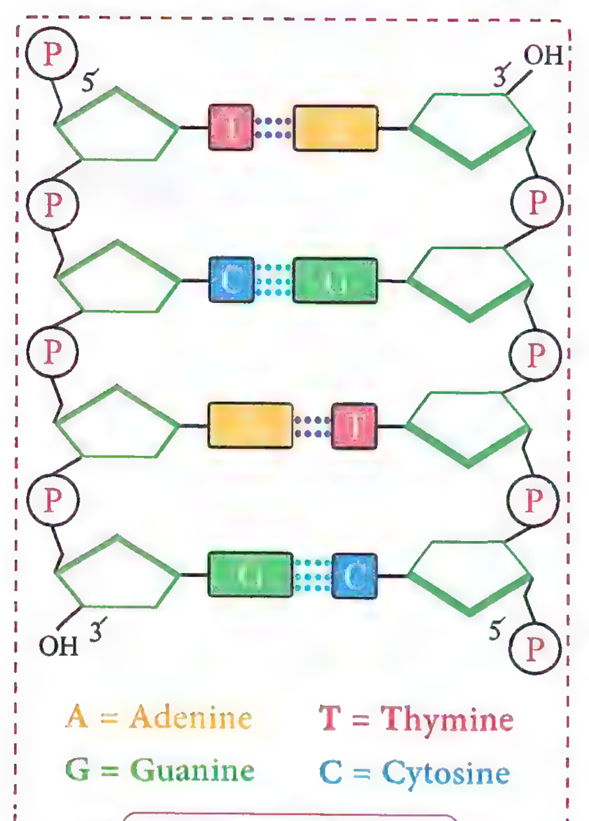
اليوراسيل U
(يدخل في تركيب RNA فقط)



السيتوزين C
(يدخل في تركيب DNA وRNA)

آلية ارتباط النيوكليوتيدات مع بعضها لتكوين DNA

ترتبط النيوكليوتيدات ببعضها في شريط DNA كالآتي:



تركيب DNA

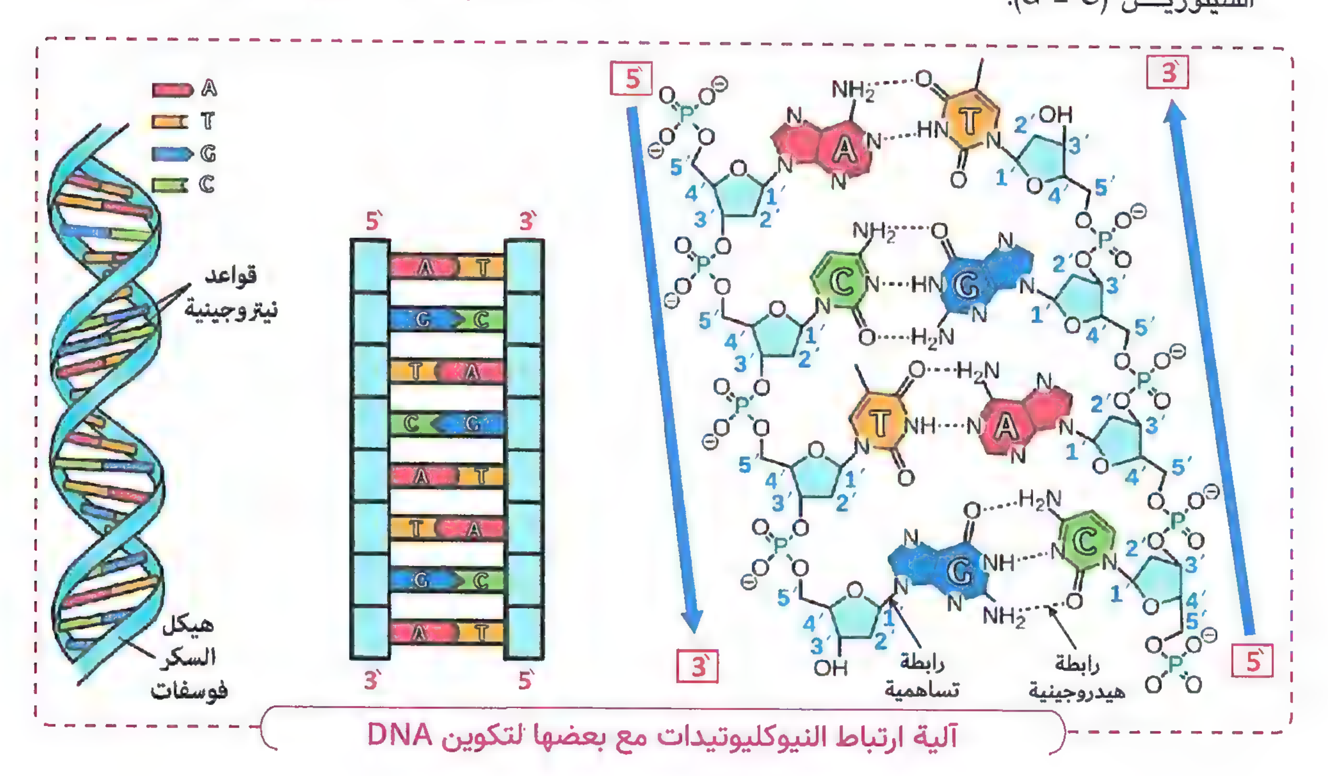
١ مجموعـة الفوسـفات المتصلـة بـذرة الكربـون رقـم (٥) فـي سـكر إحـدى النيوكليوتيـدات ترتبـط برابطـة تسـاهمية بـذرة الكربـون رقـم (٣) فـي النيوكليوتيـدة التاليـة.. ، والتركيـب الـذي يتبـادل فيـه السـكر والفوسـفات يطلـق عليـه «هيكـل سـكر فوسـفات».

٢ هيكل سكر فوسفات غير متماثل ... علل؟

لأن بـه مجموعـة فـوسـفات حـرة طليقـة مرتبطـة بـذرة الكربـون رقـم (٥) فـي السـكر الخماسـي عنـد إحـدى نهاياتـه، ومجموعـة هيدروكسيـل (OH) حـرة طليقـة مرتبطـة بذرة الكربون رقم (٣) في السكر الخماسـي عنـد النهـاية الأخـرى للهيكل.

٣ تبـرز قواعـد البيوريـن والبيريميديـن علـى جانـب واحـد مـن هيكـل سكـر فوسفـات.

٤ فـي كل جـزيء DNA يكـون عـدد النيوكليوتيـدات التـي تحتـوي علـى الأدنيـن مسـاوية لتلـك التـي تحتـوي علـى الثايميـن (A = T)، وعـدد النيوكليوتيـدات التـي تحتـوي علـى الجوانيـن مسـاوية لتلـك التـي تحتـوي على السيتوزيـن (G = C).



آلية ارتباط النيوكليوتيدات مع بعضها لتكوين DNA

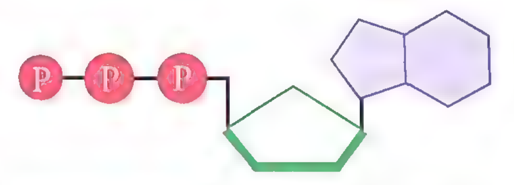
ملحوظات

• يوجد في جزئ DNA نوعان من الروابط الكيميائية:

روابط تساهمية	روابط هيدروجينية
روابط قوية صعبة الكسر.	روابط ضعيفة سهلة الكسر.
أكثر ثباتا.	أقل ثباتا.
توجد في شريط DNA بين: • ذرة الكربون رقم (٥) في جزئ السكر الخماسي ومجموعة الفوسفات في النيوكليوتيدة المفردة. • ذرة الكربون رقم (٣) في جزئ السكر الخماسي ومجموعة الفوسفات في النيوكليوتيدة التالية على الشريط. • ذرة الكربون رقم (٣) في جزئ السكر الخماسي ومجموعة الهيدروكسيل الطرفية. • ذرة الكربون رقم (١) في جزئ السكر الخماسي والقاعدة النيتروجينية. • ذرات المركبات العضوية المكونة لأجزاء النيوكليوتيدة المختلفة مثل ذرات السكر الخماسي.	توجد في جزئ DNA بين: • القاعدة النيتروجينية على أحد شريطي DNA (بيريميدينات) والقاعدة النيتروجينية على الشريط المقابل (بيورينات).

• كل شريط من أشرطة DNA له نهايتان إحداهما توجد عند الطرف ´5 ترتبط بها مجموعة فوسفات حرة (طليقة) والأخرى توجد عند الطرف ´3 ترتبط بها مجموعة هيدروكسيل حرة (طليقة).

• يدخل الأدنين في تركيب جزيء الأدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP (عملة الطاقة في الخلية).



أدينين ـ سكر خماسي ـ ٣ مجموعات فوسفات

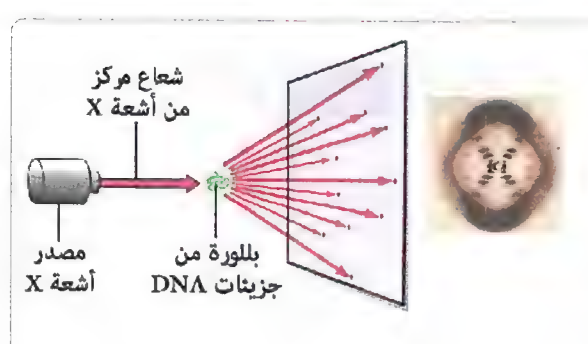
أدينوسين

AMP + P_i → ADP + P_i → ATP

الدليل المباشر على تركيب DNA (دراسات فرانكلين Franklin)

الخطوات

1. استخدمت فرانكلين تقنية أشعة X في الحصول على صور لبلورات من DNA عالي النقاوة.
2. قامت بإمرار أشعة X خلال بلورات من جزيئات DNA ذات تركيب منتظم.



المشاهدة

حدوث تشتت لأشعة X وظهور طراز من توزيع نقط أعطى تحليلها معلومات عن شكل DNA .

الاستنتاج

- جزيء DNA ملتف على شكل حلزون أو لولب بحيث تكون القواعد متعامدة على طول الخيط.
- هيكل سكر فوسفات يوجد في الجهة الخارجية من اللولب والقواعد النيتروجينية توجد جهة الداخل.
- قطر اللولب يدل على أنه يتكون من أكثر من شريطDNA .

- عام ١٩٥٢م نشـرت فرانكلين صـورًا للبلـورات من DNA عالـي النقـاوة أوضحـت فيهـا هـذه النتائـج.
- بدأ بعد ذلك سباق رهيب بين العلماء لوضع المعلومات المتاحة في صورة نموذج Model لتركيب جزيء DNA، إلا أن أول من تمكن من وضع نموذج مقبول لتركيب DNA كان العالمان الإنجليزيان واطسون وكريك.

للاطلاع فقط

- توجد القواعد النيتروجينية جهة الداخل لأن طبيعتها الكيميائية تجعلها كارهة للماء وبالتالي تتجه بعيدًا عن المحلول المائي المحيط بالنواة في الخلية وتنغمس داخل تركيب اللولب الحلزوني.
- مفهوم حيود أشعة إكس: عند سقوط حزمة من فوتونات الأشعة على تركيب بللوري منتظم له أسطح مستوية تتصادم هذه الفوتونات مع الإلكترونات المكونة لذرات البللورة وتحيد عن مسارها ويمكن استقبالها على فيلم تصوير لتكوين صورة ثلاثية الأبعاد لكثافة الإلكترونات داخل البللورة.

نموذج واطسون وكريك لتركيب جزيء DNA



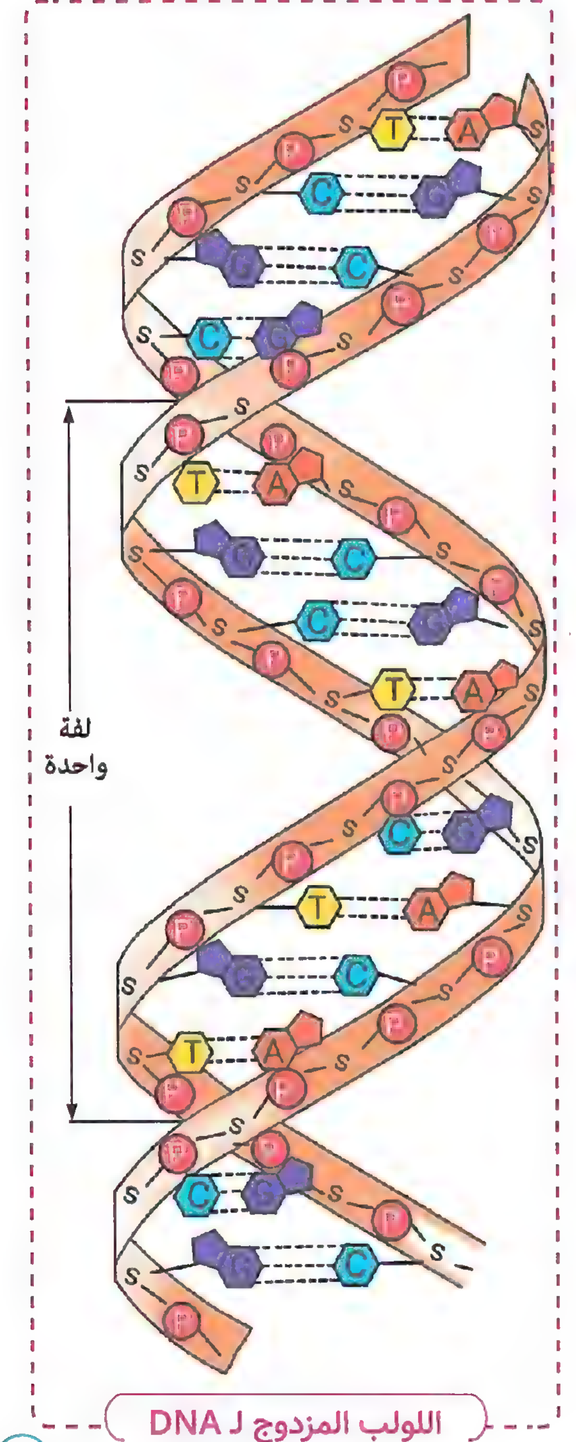
١ يتركب نموذج واطسون وكريك لتركيب DNA من شريطين يلتفان حول بعضهما ويسمي اللولب المزدوج ويرتبطان معًا كالسلم ... فسر؟
حيث:
- يمثل هيكل السكر والفوسفات جانبي السلم.
- تمثل القواعد النيتروجينية درجات السلم.

٢ عرض درجات السلم على امتداد DNA يكون متساويًا... علل؟
لأن شريطي DNA يكونان على نفس المسافة من بعضهما البعض؛ لأن كل درجة تتكون من ارتباط قاعدة نيتروجينية بريميدينية (ذات حلقة واحدة) مع قاعدة نيتروجينية بيورينية (ذات حلقتين)، حيث:
- يرتبط الأدنين (A) مع الثايمين (T) برابطتين هيدروجينيتين (A :::: T).
- يرتبط الجوانين (G) مع السيتوزين (C) بثلاث روابط هيدروجينية (G:::::C).

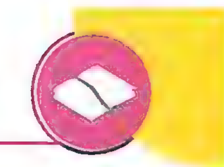
٣ شريطا جزيء DNAمتعاكسا الاتجاه ... علل؟
حيث يكون أحد الشريطين اتجاهه (´5←´3) بينما يكون الشريط المقابل اتجاهه (´3←´5) بمعنى أن مجموعة الفوسفات الطرفية المتصلة بذرة الكربون رقم (5) في السكر الخماسي في شريطي DNA تكون عند الطرفين المعاكسين حتى تتكون الروابط الهيدروجينية بين زوجي القواعد النيتروجينية المتكاملة بشكل سليم.

٤ يلتف (يجدل) سلم DNA حول نفسه ... علل؟
ليتكون لولب أو حلزون DNA لتقصير طوله بحيث يوجد 10 نيوكليوتيدات في كل لفة على الشريط الواحد.

٥ يطلق على جزيء DNA «اللولب المزدوج» ... علل؟
لأنه عبارة عن شريطين يلتفان حول بعضهما البعض لتكوين لولب (حلزون).



اللولب المزدوج لـ DNA



تطبيقات

- چين = قطعة DNA = لولب مزدوج = شريطان من DNA = جزيء DNA.
- عدد درجات السلم في DNA = عدد نيوكليوتيدات الشريط الواحد = عدد أزواج النيوكليوتيدات على الشريطين.
- عدد مجموعات الفوسفات الحرة الطليقة في حقيقيات النواة = عدد مجموعات الهيدروكسيل الحرة الطليقة = ٢ في كل جزيء.
- عدد مجموعات الفوسفات الحرة الطليقة في أوليات النواة = صفر
- عدد مجموعات الهيدروكسيل الحرة الطليقة في أوليات النواة = صفر.
- عدد النيوكليوتيدات = عدد القواعد النيتروجينية = عدد مجموعات الفوسفات = عدد جزيئات السكر الخماسي.
- عدد اللفات الموجودة في قطعة من DNA = $\frac{\text{عدد النيوكليوتيدات الموجودة في هذه القطعة}}{٢٠}$.
- عدد اللفات الموجودة في شريط مفرد من DNA = $\frac{\text{عدد النيوكليوتيدات الموجودة في هذه الشريط}}{١٠}$.
- عدد لفات الـDNA = $\frac{\text{طول DNA الشريط}}{\text{طول اللفة الواحدة}}$.
- عدد أزواج القواعد = $\frac{\text{طول DNA}}{\text{سمك النيوكليوتيدة}}$.
- ترتبط قاعدة الأدنين مع قاعدة الثايمين برابطتين هيدروجينيتين .. ، بينما ترتبط قاعدة الجوانين مع قاعدة السيتوزين بثلاث روابط هيدروجينية .
- $G = C$ ، $A = T$ ، $\frac{G}{C} = \frac{A}{T} = ١$ ، $\frac{A+G}{T+C} = ١$
- $A + G = T + C = ٥٠\%$
- عدد الروابط الهيدروجينية الموجودة في قطعةDNA = (عدد قواعد السيتوزين أو الجوانين) × ٣ + (عدد قواعد الأدنين أو الثايمين) × ٢.
- عدد الروابط الهيدروجينية المزدوجة الموجودة في قطعةDNA = عدد قواعدA = عدد قواعدT .. في اللولب المزدوج.
- عدد الروابط الهيدروجينية الموجودة في ثلاثيات في قطعةDNA = عدد قواعد G = عدد قواعدC .. في اللولب المزدوج.
- عدد قواعد البيورينات ذات الحلقتين = عدد قواعد البيريميدينات ذات الحلقة الواحدة.
- عدد حلقات كل درجة من درجات سلمDNA = ٣ حلقات.

أمثلة

1 قطعة من DNA عند تحليلها وجد أنها تحتوي على ١٠٠٠ نيوكليوتيدة منها ١٥٠ نيوكليوتيدة تحتوي على قاعدة الأدنين، في ضوء ذلك: احسب:

١. عدد مجموعات الفوسفات الموجودة في هذه القطعة.
٢. عدد مجموعات الفوسفات الحرة الموجودة في هذه القطعة.
٣. عدد اللفات الموجودة في هذه القطعة.
٤. عدد باقي القواعد النيتروجينية في هذه القطعة.
٥. نسبة قواعد الجوانين في هذه القطعة.
٦. عدد درجات السلم في هذه القطعة.
٧. عدد الروابط الهيدروجينية الموجودة في هذه القطعة.
٨. عدد الروابط الهيدروجينية الموجودة بصورة مزدوجة في هذه القطعة.
٩. عدد الروابط الهيدروجينية الموجودة في صورة ثلاثيات في هذه القطعة.
١٠. أثبت أن: $\frac{A+G}{T+C} = ١$

الإجابة:

١- عدد مجموعات الفوسفات = عدد النيوكليوتيدات = ١٠٠٠.
٢- عدد مجموعات الفوسفات الحرة = ٢.

٣- عدد اللفات = $\frac{\text{عدد النيوكليوتيدات الموجودة في القطعة}}{٢٠} = \frac{١٠٠٠}{٢٠} = ٥٠$ لفة.

٤- عدد القواعد النيتروجينية = عدد النيوكليوتيدات = ١٠٠٠.
عدد قواعد A = عدد قواعد T = ١٥٠ قاعدة.
عدد قواعد G + عدد قواعد C = ١٠٠٠ − (٢ X ١٥٠) = ١٠٠٠ − ٣٠٠ = ٧٠٠ قاعدة.

عدد قواعد G = عدد قواعد C = $\frac{٧٠٠}{٢} = ٣٥٠$ قاعدة.

٥- نسبة قواعد G = نسبة قواعد C = $\frac{\text{عدد قواعد G}}{\text{العدد الكلي للقواعد}}$ X ١٠٠ = $\frac{٣٥٠}{١٠٠٠}$ X ١٠٠ = ٣٥٪

٦- عدد درجات السلم = عدد نيوكليوتيدات الشريط الواحد = $\frac{١٠٠٠}{٢} = ٥٠٠$ درج.

٧- عدد الروابط الهيدروجينية = (عدد قواعد G × ٣) + (عدد قواعد A × ٢)
= (٣٥٠ × ٣) + (١٥٠ × ٢) = ١٣٥٠ رابطة.

٨- عدد الروابط الهيدروجينية الموجودة في صورة مزدوجة = عدد قواعد A = ١٥٠ رابطة.

٩- عدد الروابط الهيدروجينية في صورة ثلاثيات = عدد قواعد G = ٣٥٠ رابطة.

١٠- $\frac{A+G}{T+C} = \frac{١٥٠ + ٣٥٠}{١٥٠ + ٣٥٠} = \frac{٥٠٠}{٥٠٠} = ١$.

٢ إذا علمت أن $\frac{G}{A}=\frac{2}{3}$ في أحد جزيئات DNA في خلية جسدية لإنسان ما.
ما النسبة المئوية لكل من T ، C في الشريطين ؟

الإجابة:

بفرض أن:

$$\frac{G}{A}=\frac{2}{3}=\frac{C}{T}$$

$G=2x=C$ ، $A=3x=T$

$A+G+C+T=100\%$ $3x+2x+2x+3x=100\%$

$10x=100\%$ $x=10\%$

وبالتالي تكون نسبة:

$G=C=2x=2\times10=20\%$

$A=T=3x=3\times10=30\%$

٣ الجدول التالي يوضح النسب المئوية للقواعد النيتروجينية بحمض DNA في خليتين مختلفتين لأرنب واحد، ماذا تستنتج من كل مما يأتي ؟

١- مقارنة النسب المئوية للقواعد النيتروجينية في خلية كبد الأرنب مع نسبتها المئوية في خلية جلد الأرنب.

٢- مقارنة النسب المئوية للقواعد النيتروجينية في خلية كبد الأرنب ببعضها.

النسبة المئوية للقواعد النيتروجينية في جزيئات DNA

القواعد النيتروجينية	A	T	C	G
خلية كبد الأرنب	٢٨,٧	٢٨,٣	٢١,٤	٢١,٦
خلية جلد الأرنب	٢٨,٧	٢٨,٣	٢١,٤	٢١,٦

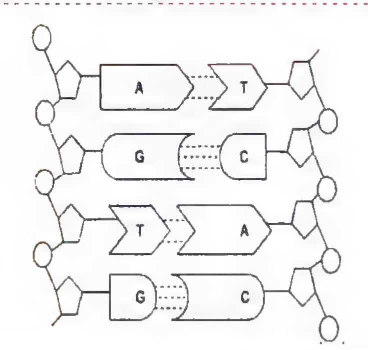
الإجابة:

١- الخلايا الجسمية لنفس الكائن تحتوي على نفس الكمية من القواعد النيتروجينية وبالتالي تكون DNA في أنواع مختلفة من الخلايا الجسدية لنفس نوع الكائن الحي متساوية مما يدل على أن DNA هو المادة الوراثية وليس البروتين.

٢- نسبة قواعد الأدنين تساوي تقريبًا نسبة قواعد الثايمين، نسبة قواعد الجوانين تساوي تقريبًا نسبة قواعد السيتوزين مما يدل على أن DNA لولب مزدوج.

أسئلة الأداء الذاتي:

١ من خلال دراستك للشكل المقابل:

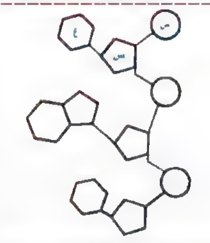


ما موضع الخطأ في تركيب الجين الموضح بالشكل السابق ؟

Ⓐ عدد الروابط الهيدروجينة
ⓑ اقتران القواعد النيتروجينية
ⓒ ترتيب هيكل السكر – فوسفات
ⓓ عدد حلقات القواعد النيتروجينية

---

٢ من خلال دراستك للشكل المقابل، أي العبارات التالية صحيحة ؟



Ⓐ (س) تحمل شحنة سالبة بينما (ص) تحمل شحنة موجبة
ⓑ (ص) تحتوي على الكربون فقط بينما (ع) تحتوي على النيتروجين فقط
ⓒ (ع) ترتبط بروابط تساهمية وأخرى هيدروجينية بينما (ص) ترتبط بروابط تساهمية فقط
ⓓ (س) مشتقة من مادة عضوية بينما (ع) مشتقة من مادة معدنية

---

٣ من خلال دراستك للجدول المقابل الذي يوضح عدد مجموعات الفوسفات الحرة في المادة الوراثية لثلاث خلايا، أجب عن السؤال التالي :

الخلايا	الخلية (س)	الخلية (ص)	الخلية (ع)
عدد مجموعات الفوسفات الحرة	٤٦	٩٢	صفر

أي البدائل التالية تشير إلى الخلايا (س)، (ص)، (ع)

	الخلية (س)	الخلية (ص)	الخلية (ع)
Ⓐ	حيوان منوي لإنسان	خلية كبد لإنسان	خلية بكتيرية
ⓑ	خلية كبد لإنسان	ليفة عضلية هيكلية لإنسان	خلية فطر الخميرة
ⓒ	خلية كبد لإنسان	ليفة عضلية هيكلية لإنسان	خلية بكتيرية
ⓓ	حيوان منوي لإنسان	خلية كبد لإنسان	خلية فطر الخميرة

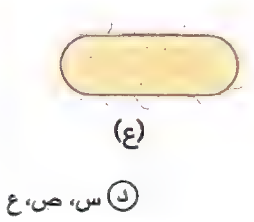
---

٤ أي الخلايا التالية يصعب فيها رؤية التركيب الموضح بالشكل المقابل عند فحصها بواسطة الميكروسكوب الإلكتروني ؟




(س)


(ص)

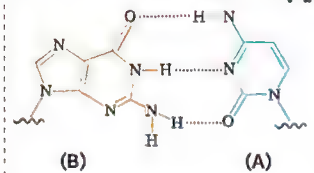

(ع)



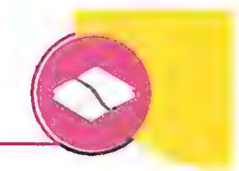
Ⓐ ص فقط　ⓑ ع فقط　ⓒ ص، ع　ⓓ س، ص، ع

---

٥ ادرس الشكل الذي يوضح ارتباط قاعدتين نيتروجينيتين معًا، ما الذي يمثله كل من A، B على الترتيب ؟



Ⓐ جوانين وسيتوزين
ⓑ أدينين وثايمين
ⓒ ثايمين وأدينين
ⓓ سيتوزين وجوانين

تضاعـــف DNA

التمهيـد

+ هـل فكـرت يومـا مـاذا يحـدث لنسـيج الجلـد بعـد أن تجـرح يـدك بواسـطة آلـة حـادة مثـل السـكين ؟ هـل تساءلت يومـا كيـف تتحـول خليـة الزيجـوت إلـى جنيـن كامـل خـلال ٩ شـهور ؟ لا شـك أنـك لاحظـت أن هـذه الخلايـا لابـد أن تنقسـم بشـكل دوري لتعويـض الأجـزاء التالفـة أو النمـو أو التئـام الجـروح ولكـن كيـف يمكـن للخلايـا الناتجـة مـن الانقسـام أن تحافـظ علـى ثبـات مادتهـا الوراثيـة رغـم زيـادة أعدادهـا !

قبـل أن تبـدأ الخليـة بالانقسـام تتضاعـف كميـة المـادة الوراثيـة بداخلهـا حتـى تحصـل كل خليـة جديـدة ناتجـة مـن الانقسـام علـى نسـخة طبـق الأصـل مـن المعلومـات الوراثيـة الخاصـة بالخليـة الأصليـة ويطلـق علـى هـذه العمليـة مصطلـح «تضاعـف DNA».

الشـــرح

- **توقيت الحدوث:** تتضاعف كمية DNA في الخلية قبل أن تبدأ في الانقسام.
- **الهدف:** حتي تستقبل كل خلية جديدة نسخة طبق الأصل من المعلومات الوراثية الخاصة بالخلية الأم.
- **الملائمة التركيبية لجزيءDNA في عملية تضاعف DNA:**

أشـار «واطسـون وكريـك» إلـى أن جـزيء DNA يحتوي على وسـيلة يمكن بها مضاعفـة المعلومـات الوراثيـة بدقـة ... **فسر ؟!**

حيـث إن الشـريطين يحتويـان علـى قواعـد نيتروجينيـة متكاملـة أي أن تتابـع النيوكليوتيـدات فـي كل شـريط يوفـر المعلومـات اللازمـة لبنـاء شـريط مقابـل لـه ومتكامـل معـه فيعمـل كل شـريط قديـم كقالـب لبنـاء شـريط DNA جديـد يتكامـل معـه.

- **مثال:**

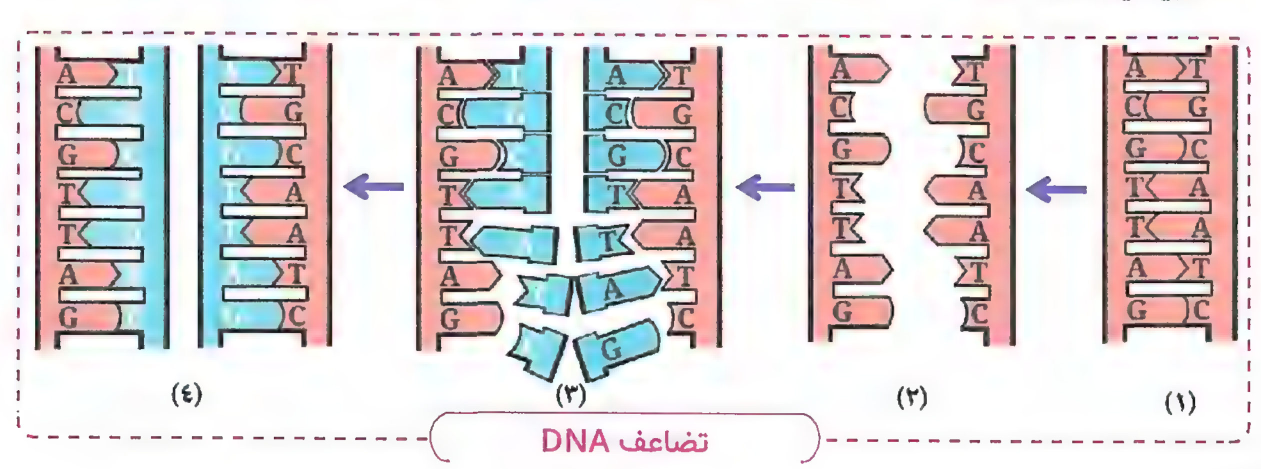
إذا كان تتابع القواعد النيتروجينية في جزء من أحد الشريطين هو

(5́ ..... C – C – T – A – A ..... 3́)

فإن قطعة الشريط التي تتكامل معه تكون كالتالي:

(3́ ..... G – G – A – T – T ..... 5́)

وبالتالـي عنـد فصـل شـريطيDNA عـن بعضهمـا البعـض فـإن أيًـا منهمـا يمكـن أن يعمـل كقالـب لإنتـاج شـريط يتكامـل معـه.



تضاعف DNA

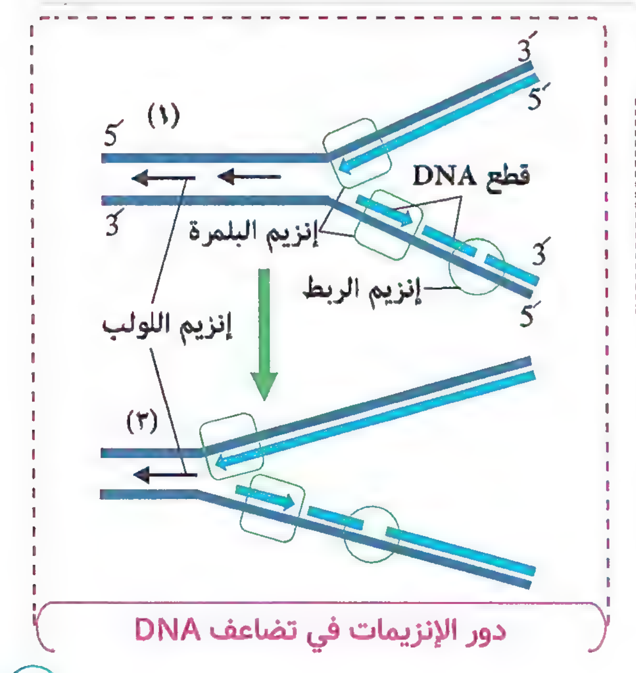
✪ شروط حدوث عملية تضاعف DNA:

1. تكامل نشاط عدد من الإنزيمات والبروتينات في الخلية مثل إنزيمات اللولب، البلمرة، الربط.
2. وجود شريطDNA قديم يمكن استخدامه كقالب لبناء شريط DNA جديد يتكامل معه.

	الإنزيم المستخدم	الخطوات
الفصل	إنزيم اللولب Helicase	(١) تتحرك إنزيمات اللولب (DNA – helicases) على امتداد اللولب المزدوج فاصلة الشريطين عن بعضهما عن طريق: كسر الرابطة الهيدروجينية بين القواعد النيتروجينية المتزاوجة في كلا الشريطين. (٢) يبتعد الشريطان عن بعضهما لتتمكن القواعد النيتروجينية من تكوين روابط هيدروجينية مع نيوكليوتيدات جديدة.
البناء	إنزيم البلمرة polymerase enzyme	تقوم **إنزيمات البلمرة (DNA – polymerases)** ببناء أشرطةDNA جديدة كالتالي: (أ) في حالة الشريط (3َ⟵5َ) الأصلي القالب: تقوم إنزيمات البلمرة بإضافة نيوكليوتيدات جديدة الواحدة تلو الأخرى من البداية ٥ إلى النهاية ٣ لشريط DNA الجديد، ويتم ذلك بعد أن تتزاوج القاعدة النيتروجينية في النيوكليوتيدة الجديدة مع القاعدة النيتروجينية الموجودة على شريط القالب، وتتم هذه العملية بشكل متصل ويزداد طول شريط DNA النامي تدريجيًا. (ب) في حالة الشريط (5َ⟵3َ) الأصلي المعاكس: تقوم إنزيمات البلمرة ببناء قطع صغيرة بشكل غير متصل في اتجاه (5َ⟵3َ) لشريط DNA القالب القديم تاركة ثغرات في الشريط الجديد فبعد أن ينتهي إنزيم البلمرة من بناء قطعة DNA يقوم بالرجوع عكس اتجاهه ليواصل عمله في بناء قطعة جديدة مستقلة وذلك لأن إنزيم البلمرة لا يعمل إلا في الاتجاه 5َ⟵3َ
الربط	إنزيمات الربط DNA-ligase	تقوم إنزيمات الربط (DNA – ligase) بربط قطع DNA الصغيرة المتقطعة التي كونها إنزيم البلمرة أثناء تضاعف الشريط الأصلي المعاكس عن طريق تكون روابط تساهمية بين الطرف ٣ للقطعة الجديدة والطرف ٥ للقطعة السابقة لها للحصول على شريط كامل متصل.

ملحوظات

- يعمل إنزيم البلمرة في اتجاه واحد فقط وهو من الطرف (5َ) إلى الطرف (3َ) لذلك فإنه:
  - يصلح لبناء الشريط المكمل للشريط القالب (3َ⟵5َ) بمفرده.
  - لا يصلح لبناء الشريط المكمل للشريط المعاكس (5َ⟵3َ) إلا بمساعدة إنزيمات الربط.



دور الإنزيمات في تضاعف DNA

✪ **مكان حدوث عملية تضاعف DNA:** يختلف حسب نوع الكائن الحي كالتالي:

	أوليات النواة	حقيقيات النواة
مكان وجود المادة الوراثية	يوجد DNA في السيتوبلازم غير محاط بغشاء نووي.	يوجد DNA داخل النواة محاط بغشاء نووي.
شكل جزئ DNA	يوجد في شكل لولب مزدوج تلتحم نهايتاه مع بعضهما البعض ويتصل مع الغشاء البلازمي عند نقطة ما يبدأ عندها تضاعف جزيء DNA.	يوجد في صورة صبغيات يحتوي كل صبغي على جزيء واحد من DNA يمتد من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر.
التضاعف	تبدأ عملية تضاعف DNA عند نقطة اتصاله مع الغشاء البلازمي للخلية.	تبدأ عملية تضاعف DNA من عند أي نقطة على امتداد جزيء DNA في الصبغي.
الشكل التوضيحي	DNA الأصلي - الشريط المكمل - الشريط القالب	DNA الأصلي - الشريط القالب - الشريط المكمل

ملحوظات

- قد يكون الكروموسوم (الصبغي) أحادي الكروماتيد أو ثنائي الكروماتيد حسب الطور الانقسامي للخلية.
- يحتوي كل صبغي (كروموسوم مفرد أحادي الكروماتيد) على جزيء واحد من DNA، يمتد من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر.
- تتضاعف كمية المادة الوراثية (DNA) في الطور البيني (التحضيري) قبيل انقسام الخلية (ميوزي أو ميتوزي) حتى تحتفظ الخلايا الجديدة الناتجة عن الانقسام بنفس الخصائص الوراثية.
- جدول يوضح العلاقة بين عدد الكروموسومات وعدد جزيئات DNA في الخلايا المختلفة للإنسان.

	وضع الخلية	عدد الكروموسومات	عدد الكروماتيدات	عدد جزيئات DNA	عدد المجموعات الصبغية	مثال
في الوضع غير الانقسامي سواء ميوزي أو ميتوزي	—	٤٦	٤٦	٤٦	٢ن	—
الانقسام الميتوزي	في الطور البيني قبيل الانقسام	٤٦	٩٢	٩٢	٢ن	—
	بعد الانقسام	٤٦	٤٦	٤٦	٢ن	الجلد، الشعر.
الانقسام الميوزي	في الطور البيني قبيل الانقسام	٤٦	٩٢	٩٢	٢ن	—
	بعد الانقسام الميوزي الأول	٢٣	٤٦	٤٦	ن	خلية منوية ثانوية، خلية بيضية ثانوية، الجسم القطبي الأول.
	بعد الانقسام الميوزي الثاني	٢٣	٢٣	٢٣	ن	الطلائع المنوية، الحيوانات المنوية، البويضات، الأجسام القطبية النهائية.

إصـــلاح عيـــوب DNA

✪ مـن المعـروف أن كل البوليمـرات التـي توجـد فـي الخليـة قـد تتعـرض لعـدة عوامـل داخليـة أو خارجيـة تؤثـر علـى بنيتهـا الأسـاسـية ممـا يـؤدي إلـى تلـف تركيبهـا الكيميائي أو الجزيئي ومـن أمثلـة هـذه المركبـات:

- **النشا:** بوليمر يتكون من وحدات متكررة من الجلوكوز(مونيمر).
- **البروتين:** بوليمر يتكون من وحدات متكررة من الأحماض الأمينية (مونيمرات).
- **الأحماض النووية:** بوليمرات تتكون من وحدات متكررة من النيوكليوتيدات (مونيمرات).

البوليمرات

مركبـات طويلـة تتكـون مـن وحـدات بنائيـة متكـررة (كالنشـا، البروتيـن، الأحمـاض النوويـة) تتعـرض للتلـف باسـتمرار بسـبب حـرارة الجسـم والبيئـة المائيـة داخـل الخليـة.

✪ يعتبـر DNA مـن المركبـات البيولوجيـة المعرضـة للتلـف حيـث تفقـد الخليـة البشـرية يوميًـا حوالـي ٥٠٠٠ قاعـدة بيورينيـة (أدينيـن وجوانيـن) مـن DNA الموجـود بهـا.

✪ أسباب تلف الأحماض النووية داخل الخلايا:

	التأثير	الأمثلة
المركبات الكيميائية	ينتـج عنهـا تغيـر فـي شـكل أو تركيـب القواعـد النيتروجينيـة إلـى قواعـد أخـرى جديـدة ممـا قد يـؤدي إلـى حـدوث طفرات ينتـج عنها تشـوهات فـي الأجنـة وتلـف فـي الخلايـا أو فقـد الخلايـا لجـزء مـن وظيفتهـا.	• المعادن الثقيلة كالرصاص والزئبق. • تنـاول بعـض الأدويـة والعقاقيـر الممنوعـة أثنـاء الحمـل. • التعرض بكثرة للمبيدات الحشرية.
التعرض للإشعاع لفترات طويلة أو بكميات كبيرة	ينتـج عنهـا تكويـن روابـط هيدروجينيـة بيـن القواعـد النيتروجينيـة المتجاورة (حتـى لو كانت غيـر متكاملـة) ممـا قـد يـؤدي إلـى طفـرة فـي الجينـات المسـئولة عن انقسـام الخلايـا وبالتالي زيـادة فـرص الإصابـة بسـرطانات الجلـد.	• الأشـعة فـوق البنفسـجية الضـارة الناتجـة مـن التعـرض المسـتمر للإشـعاع. • أشـعة إكس المسـتخدمة في تصوير كسـور العظام.
درجات الحرارة العالية	ينتـج عنهـا كسـر الروابـط الهيدروجينيـة بيـن أزواج القواعـد النيتروجينيـة المتكاملـة ويعقبهـا كسـر الروابـط التسـاهمية أيضًـا.	• التعـرض المسـتمر للشـمس فـي وقـت الظهيـرة لفتـرات طويلـة. • التعـرض المباشـر للحـرارة العاليـة كمـا يحـدث فـي الأفـران.
البيئة المائية داخل الخلية	زيـادة أو نقـص المحتوي المائـي داخـل الخلايا قـد ينتـج عنه تلف وضمـور في الحمـض النووي بفعـل الضغـط وبالتالـي تفقـد الخلايـا وظائفهـا الحيويـة.	• زيـادة الضغـط الأسـموزي للـدم بدرجـات كبيـرة كمـا يحـدث فـي حـالات الجفـاف الشـديد أو الحـروق. • زيـادة المحتـوي المائـي داخـل الخلايـا عنـد شـرب كميـات كبيـرة جـدًا من الماء (تسـمم المـاء).

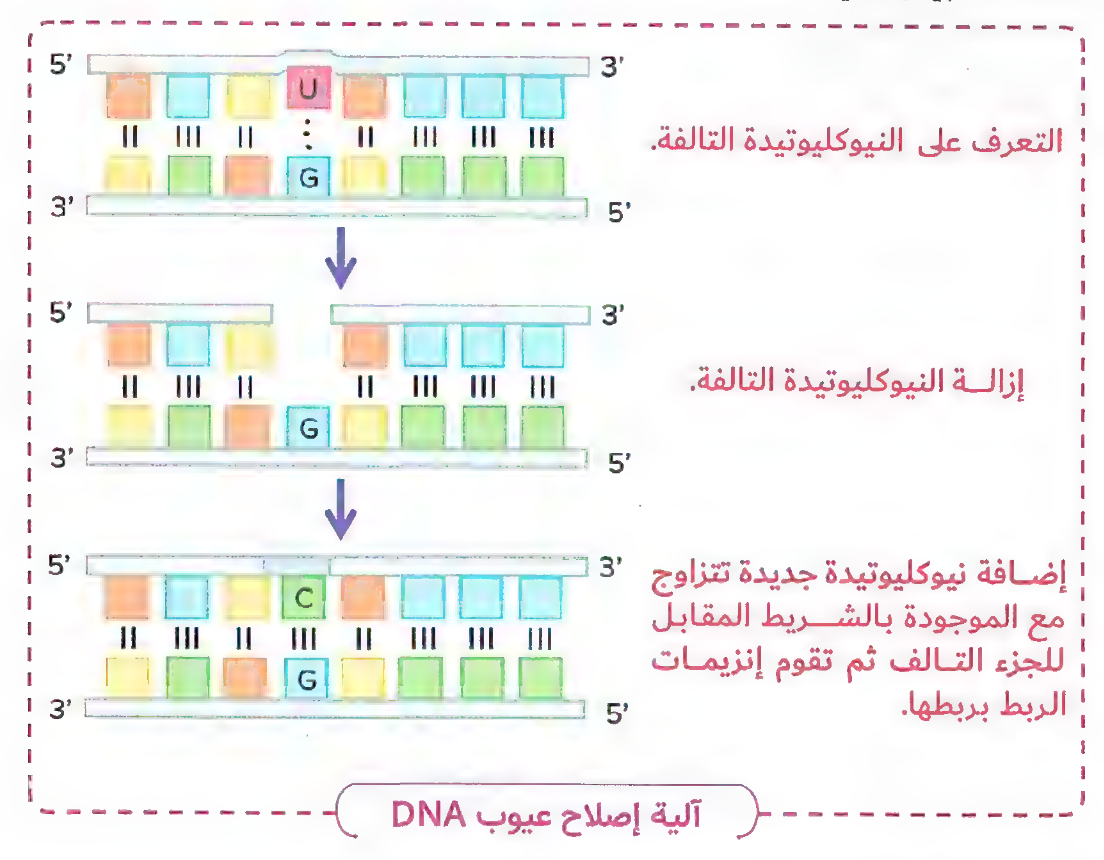
تأثير تلف DNA:

• عند تعرض DNA للإشعاع أو المركبات الكيميائية أو الحرارة ... ماذا يحدث ؟
يتعـرض DNA للتلـف، ويحـدث تغيـر فـي المعلومـات الوراثيـة الموجـودة بـه وبالتالـي ينتـج عنـه تغيـرات خطيرة فـي بروتينـات الخلية.

• رغـم أن هنـاك آلاف التغيـرات التـي تحـدث لجـزيءDNA كل يـوم إلا أنـه لا يسـتمر مـن هـذه التغيـرات فـي الخليـة سـوى تغيريـن أو ثلاثـة كل عـام وتكـون لهـا صفـة الـدوام .. علل ؟
لأن الغالبيـة العظمـى مـن هـذه التغيـرات تـزال بكفـاءة عاليـة نتيجـة نشـاط مجموعـة مـن الإنزيمـات عددهـا (٢٠ إنزيمًـا) تعمـل فـي تناغـم علـى إصـلاح عيـوب DNA وهـي إنزيمـات الربـط (DNA Ligases)، بينمـا الـذي يسـتمر مـن هـذه التغيـرات فـي الخليـة يكـون بسـبب حـدوث تلـف فـي شـريطي DNA فـي نفـس الموقـع وفـي نفـس الوقـت.

آلية إصلاح عيوب DNA:

تقـوم إنزيمـات الربـط بالتعـرف علـى المنطقـة التالفـة فـي DNA ثم تقـوم بإصلاحهـا وذلـك باسـتبدال النيوكليوتيدة التالفـة بنيوكليوتيـدة جديـدة تتـزاوج مـع تلـك الموجـودة بالشـريط المقابـل للجـزء التالـف، فيظـل تركيـب DNA ثابتًـا عنـد انتقالـه للأجيـال التاليـة.



آلية إصلاح عيوب DNA

الأساس العلمي لإصلاح عيوب DNA:

يعتمـد إصـلاح عيـوبDNA علـى وجـود نسـختين مـن المعلومـات الوراثيـة واحـدة علـى كل شـريط مـن شـريطي اللولـب المـزدوج فـلا بـد مـن وجـود شـريط مـن الشـريطين دون تلـف لتسـتطيع إنزيمـات الربـط اسـتخدامه كقالـب لإصـلاح التلـف الموجـود علـى الشـريط المقابـل، وبالتالـي فـكل تلـف يمكـن إصلاحـه إلا إذا حـدث هـذا التلـف فـي الشـريطين فـي نفـس الموقـع ونفـس الوقـت.

فسر ؟!

• يعتبر ازدواج اللولب المزدوج لـ DNA حيويًا للثبات الوراثي في الكائنات الحية.

حيث يعتمد إصلاح عيوب DNA على وجود نسختين من المعلومات الوراثية واحدة على كل شريط من شريطي اللولب المزدوج فوجود شريط من الشريطين دون تلف يجعل إنزيمات الربط تستخدمه كقالب لإصلاح التلف الموجود على الشريط المقابل، وبالتالي فكل تلف يمكن إصلاحه إلا إذا حدث هذا التلف في الشريطين في نفس الموقع ونفس الوقت.

• يظهر في بعض الفيروسات معدل مرتفع من التغيرات الوراثية (الطفرات).

(أو) طفرات الفيروسات المحتوية على RNA أكثر من تلك المحتوية على DNA.

لأن المادة الوراثية لبعض الفيروسات توجد على هيئة شريط مفرد من RNA وبالتالي عند حدوث تلف لا يوجد شريط آخر يمكن استخدامه كقالب لإصلاح هذا التلف بواسطة إنزيمات الربط فيستمر مما يؤدي إلى حدوث معدل مرتفع من التغيرات الوراثية.

ماذا يحدث عند: تعرض الفيروس لكمية كبيرة من الإشعاع ؟

إذا كان الفيروس محتواه الجيني DNA

تتلف بعض النيوكليوتيدات..

• إذا كان التلف على شريط واحد: تنشط إنزيمات الربط لإصلاحه واستبدال النيوكليوتيدة التالفة بأخرى جديدة تتزاوج مع تلك الموجودة على الشريط المقابل للجزء التالف فلا تحدث طفرة.

• إذا كان التلف على الشريطين في نفس الموقع ونفس الوقت: لا يمكن إصلاحه فيستمر وتحدث طفرة.

إذا كان الفيروس محتواه الجيني RNA

تتلف بعض النيوكليوتيدات..

لا يمكن لإنزيمات الربط إصلاح هذا التلف لعدم وجود شريط آخر يمكن استخدامه كقالب لإصلاح هذا التلف فيستمر مما يؤدي إلى تغير في الصفات الوراثية وحدوث طفرة.

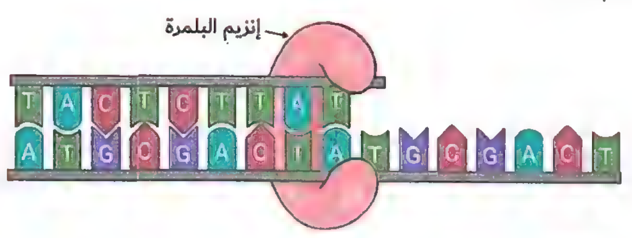


٦ الشكل المقابل يعبر عن دورة الحياة السائدة في ....

(أ) خلية من خصية نحل العسل
(ب) زيجوسبور طحلب الإسبيروجيرا
(ج) خلية من خصية الأسد
(د) خلية من مبيض أنثى الإنسان



٧ ادرس الشكل المقابل جيدًا ثم أجب :



(١) العملية الموضحة بالشكل تمثل ....

(أ) عملية تضاعف صحيحة لجزيء DNA
(ب) عملية تضاعف صحيحة لشريط DNA
(ج) عملية تضاعف صحيحة لشريط RNA
(د) عملية تضاعف غير صحيحة لشريط DNA

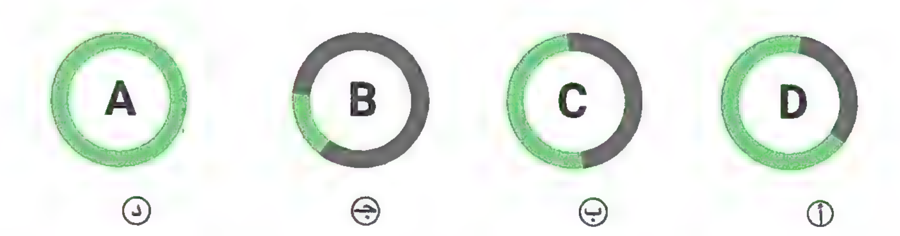
(٢) أي القطع التالية تمثل الجزء الذي لم يتكوّن بعد ؟



(أ) (ب) (ج) (د)

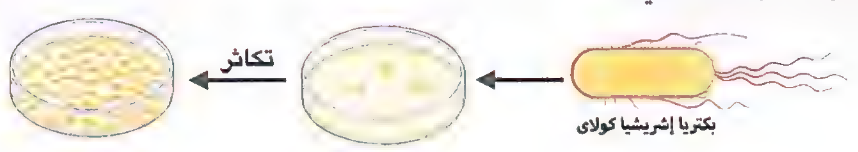
٨ أي الأشكال التالية تمثل نواتج التحليل البيوكيميائي للجزيئات الناتجة من عملية تضاعف DNA ؟

الحمض النووي الجديد
الحمض النووي الأصلي



(د) (ج) (ب) (أ)

٩ من خلال التجربة الموضحة بالشكل التالي :



أى مما يلى يعتبر صحيحا عن البكتريا الناتجة من التكاثر؟

Ⓐ جميع القواعد النيتروجينية للأفراد الناتجة تحتوى على نيتروجين ثقيل (15N)

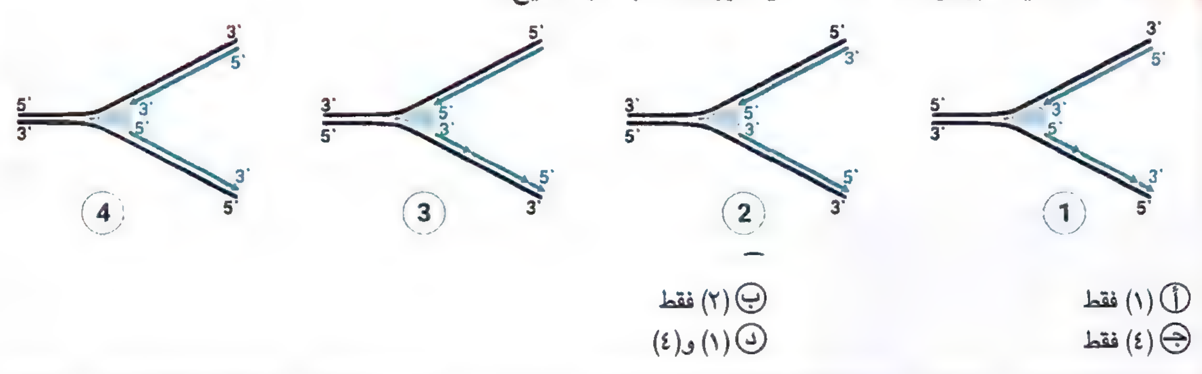
Ⓑ نصف القواعد النيتروجينية لأفراد الجيل الأول تحتوى على نيتروجين ثقيل (15N)

Ⓒ نصف القواعد النيتروجينية لأفراد الجيل الثانى تحتوى على نيتروجين ثقيل (15N)

Ⓓ جميع القواعد النيتروجينية للأفراد الناتجة لا تحتوى على نيتروجين ثقيل (15N)

---

١٠ أى الأشكال التالية تعبر عن تضاعف الحمض النووى DNA بشكل صحيح ؟



Ⓐ (١) فقط　　Ⓑ (٢) فقط

Ⓒ (٤) فقط　　Ⓓ (١) و(٤)

---

١١ «إذا علمت أن الكروموسوم يتكون من كروماتيد واحد قبل حدوث تضاعف DNA، وبعد التضاعف يصبح الكروموسوم مكونًا من ٢ كروماتيد»،

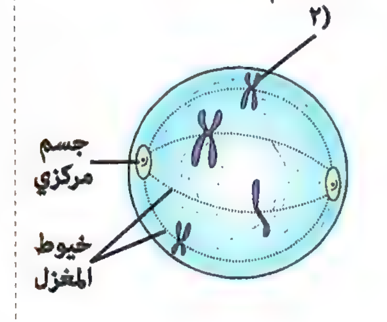
الشكل المقابل يوضح إحدى الخلايا في بداية مرحلة الانقسام، ما الذي يمكن استنتاجه من خلال الرسم ؟

Ⓐ تحتوى الخليتان الناتجتان على نفس كمية DNA

Ⓑ تحتوى الخليتان الناتجتان على نفس عدد الكروموسومات

Ⓒ حدوث تضاعف للمحتوى الجيني قبل الانقسام

Ⓓ حدوث خلل في عملية تضاعف DNA



---

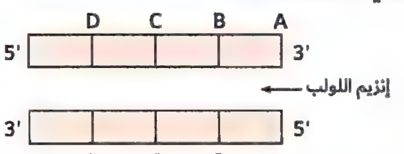
١٢ الرسم يوضح عملية تضاعف DNA بفرض أن إنزيم اللولب يقوم بفصل شريطي DNA بداية من A حتى D ما الترتيب الصحيح لاتجاه عمل إنزيم البلمرة على الشريط DNA القالب ٥ ← ٣ أثناء عملية التضاعف ؟

Ⓐ $\overrightarrow{(AB)}$ ثم $\overrightarrow{(BC)}$ ثم $\overrightarrow{(CD)}$

Ⓑ $\overrightarrow{(DC)}$ ثم $\overrightarrow{(CB)}$ ثم $\overrightarrow{(BA)}$

Ⓒ $\overrightarrow{(BA)}$ ثم $\overrightarrow{(CB)}$ ثم $\overrightarrow{(DC)}$

Ⓓ $\overrightarrow{(CD)}$ ثم $\overrightarrow{(BC)}$ ثم $\overrightarrow{(AB)}$



أولاً DNA فـي أوليـات النـــواة

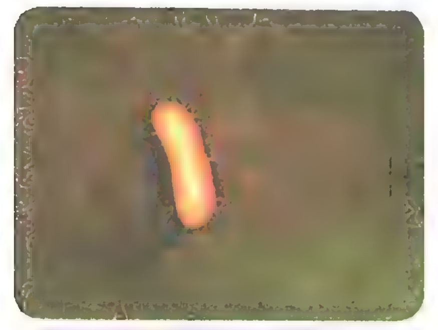
أوليات النواة

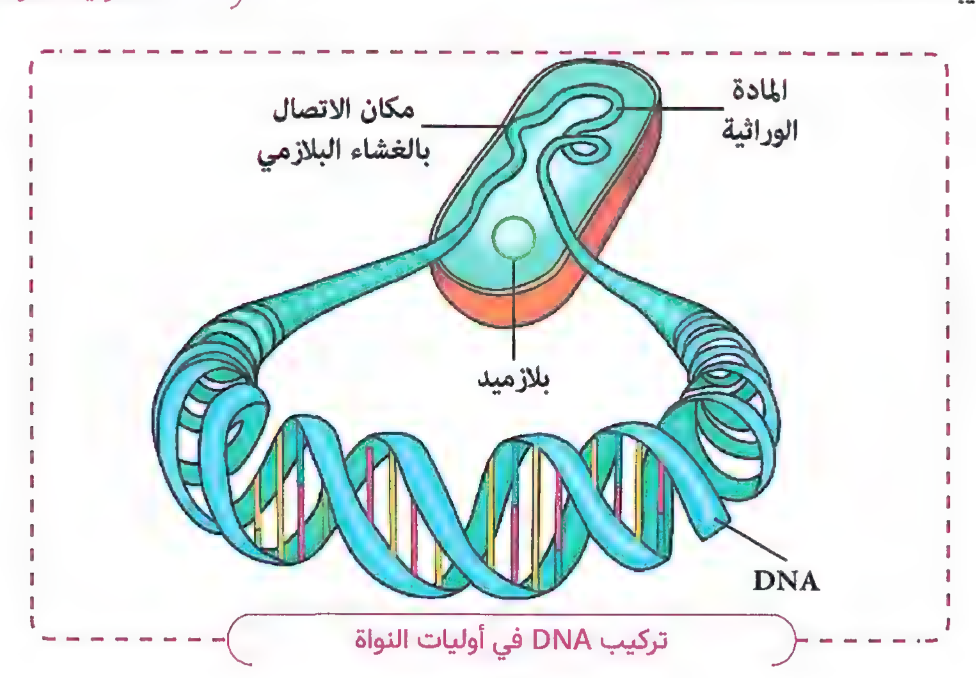
كائنـــات حيـــة لا تـحـــاط فيهـــا المـــادة الوراثيـــة بغشـــاء نـــووي يفصلهـــا عـــن الســـيتوبلازم مثـــل البكتيريـــا.

خصائص المادة الوراثية في أوليات النواة (البكتيريا):

استطاع العلماء عزل المادة الوراثية الخاصة بالبكتيريا من خلال تجارب عديدة أجريت على نوع من البكتيريا التي تقطن في أمعاء الإنسان (بكتيريا نافعة غير ضارة) تسمى إيشيريشيا كولاي (E.coli) نستنتج منها ما يلي:

1. توجد المادة الوراثية DNA حرة في السيتوبلازم غير محاطة بغشاء نووي ولا تنتظم في صورة صبغيات حقيقية كما في حقيقيات النواة.
2. يلتف جزيء DNA حول نفسه على شكل لولب مزدوج تلتحم نهايتاه معا سواء أثناء انقسام الخلية البكتيرية أو في الوضع الطبيعي غير الانقسامي للخلية البكتيرية.
3. يصل طول DNA (بعد فرده في خط مستقيم إن أمكن) إلى حوالي ١,٤ مم (١٤٠٠ ميكرون) بينما يصل طول الخلية البكتيرية نفسها إلى حوالي ٢ ميكرون.
4. يلتف جزيء DNA حول نفسه (غير معقد بالبروتين) عدة مرات ليحتل منطقة نووية طولها ٠,٢ ميكرون (أي ما يعادل ٠,١ من طول الخلية البكتيرية).
5. يتصل DNA بالغشاء البلازمي للخلية البكتيرية في موقع أو أكثر يبدأ عندها تضاعف DNA.


صورة DNA بالمجهر الإلكتروني في أوليات النواة



تركيب DNA في أوليات النواة

تحتوي بعض أنواع البكتريا على تراكيب إضافية تحتوي على DNA تعرف بـ«البلازميدات Plasmids».

البلازميدات

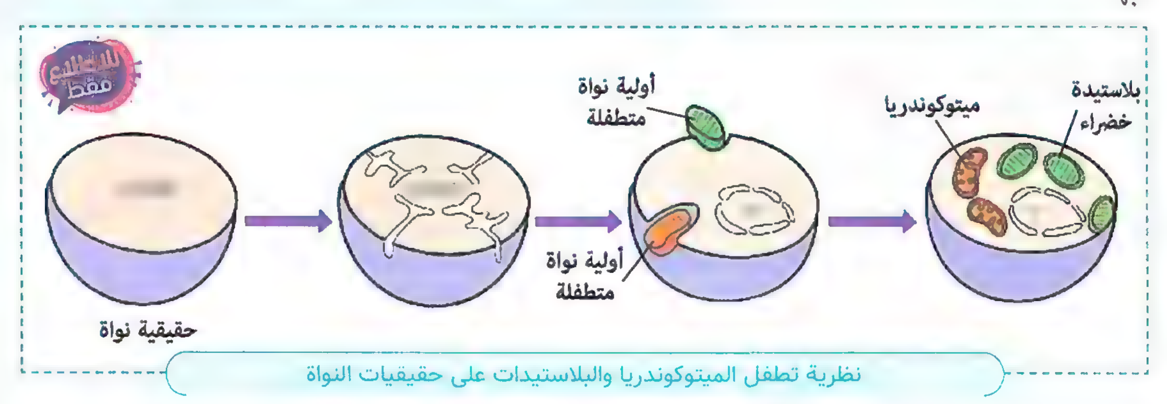
مكان الوجود	• توجد في أوليات النواة مثل البكتيريا . • توجد في بعض حقيقيات النواة مثل فطر الخميرة .
التركيب الكيميائي	جزيئات دائرية تتكون بشكل أساسي من DNA ولا تتعقد بالبروتينات.
الحجم	أصغر حجما من DNA الرئيسي وتحتوي على كمية أقل من الجينات.
الأهمية بالنسبة لأوليات النواة	- تحتوي على جينات مسئولة عن صفات غير مهمة للحياة اليومية (لا تؤثر على الوظائف الأساسية كالنمو والتكاثر) ولكنها تكسب البكتيريا صفات معينة كقدرتها على مقاومة المضادات الحيوية.
الأهمية في تطبيقات الهندسة الوراثية	- تستخدم على نطاق واسع في الهندسة الوراثية، حيث تتضاعف البلازميدات في نفس الوقت الذي تتضاعف فيه الخلايا البكتيرية لـ DNAالرئيسي بها ويستغل العلماء هذا التضاعف بإدخال بلازميدات صناعية إلى داخل الخلايا البكتيرية بهدف الحصول على نسخ كثيرة من هذه البلازميدات.
الشكل التوضيحي	DNA البكتيري بلازميدات

ملحوظات

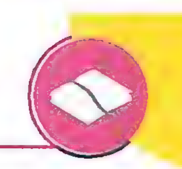
• يوجد داخل بعض العضيات الخلوية الخاصة بخلايا حقيقيات النواة جزيئات DNA تشبه تلك الموجودة في خلايا أوليات النواة (أي أنها لا تنتظم في صورة صبغيات) مثل:

• البلاستيدات الخضراء (في الخلايا النباتية فقط) المسئولة عن عملية البناء الضوئي.
• الميتوكوندريا (في كل من الخلايا النباتية والخلايا الحيوانية) المسئولة عن عملية التنفس الخلوي وتوليد الطاقة.

لذا يعتقد أن الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء نشأت كأوليات نواة متطفلة داخل خلايا حقيقيات النواة ثم استقرت بها .



نظرية تطفل الميتوكوندريا والبلاستيدات على حقيقيات النواة




ثانيا DNA في حقيقيات النواة

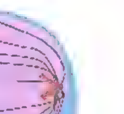
حقيقيات النواة

كائنات حية تحاط فيها المادة الوراثية بغشاء نووي يفصلها عن السيتوبلازم مثل الإنسان.

✪ خصائص المادة الوراثية في حقيقيات النواة (الإنسان):

١ يختلف شكل المادة الوراثية حسب وضع الخلية كالتالي:

	في الوضع الطبيعي (غير الانقسامي)	في الوضع الانقسامي للخلية
التوضيح	تتواجد المادة الوراثية في صورة شبكة متداخلة من الحمض النووي DNA ومجموعات مختلفة من البروتينات تعرف مجتمعة بـ«الكروماتين».	تنتظم المادة الوراثية في صورة أجسام عضوية يمكن رؤيتها تحت الميكروسكوب بعد صبغها بصبغة خاصة في صورة أجسام ملونة تعرف بـ«الكروموسومات أو الصبغيات» وتكون أكثر وضوحًا في الطور الاستوائي أثناء انقسام الخلية.
الشكل	الشبكة الكروماتينية الجسم المركزي (سنتريولان)	الكروموسومات (الصبغيات)

الكروماتين

جـزيء واحد مـن DNA يلتف ويطـوي عدة مرات مرتبطًا بالعديد مـن البروتينات ويحتـوي عادةً على كميات متساوية من DNA والبروتين.

٢ تحتوي كل خلية جسدية في الإنسان على ٤٦ صبغي.

٣ يدخل في تركيب الصبغي الواحد جزيء واحد من DNA يمتد من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر ولا يتصل بالغشاء البلازمي للخلية ويسمى عندئذ بالكروموسوم أحادي الكروماتيد.

٤ يرتبط DNA بمجموعات متنوعة من البروتينات الهستونية والبروتينات غير الهستونية .

البروتينات التي تدخل في تركيب الصبغي

	البروتينات الهستونية	البروتينات غير الهستونية
المفهوم	مجموعة محددة من البروتينات التركيبية الصغيرة توجد في كروماتين الخلية بكميات ضخمة، وتحتوي على قدر كبير من الحمضين الأمينين القاعدين الأرجينين والليسين.	مجموعة غير متجانسة من البروتينات التركيبية والتنظيمية تدخل في تركيب الكروماتين.
النوع	تركيبية فقط (تدخل في تركيب الكروموسوم).	تركيبية وتنظيمية (تدخل في تركيب ووظيفة الكروموسوم).

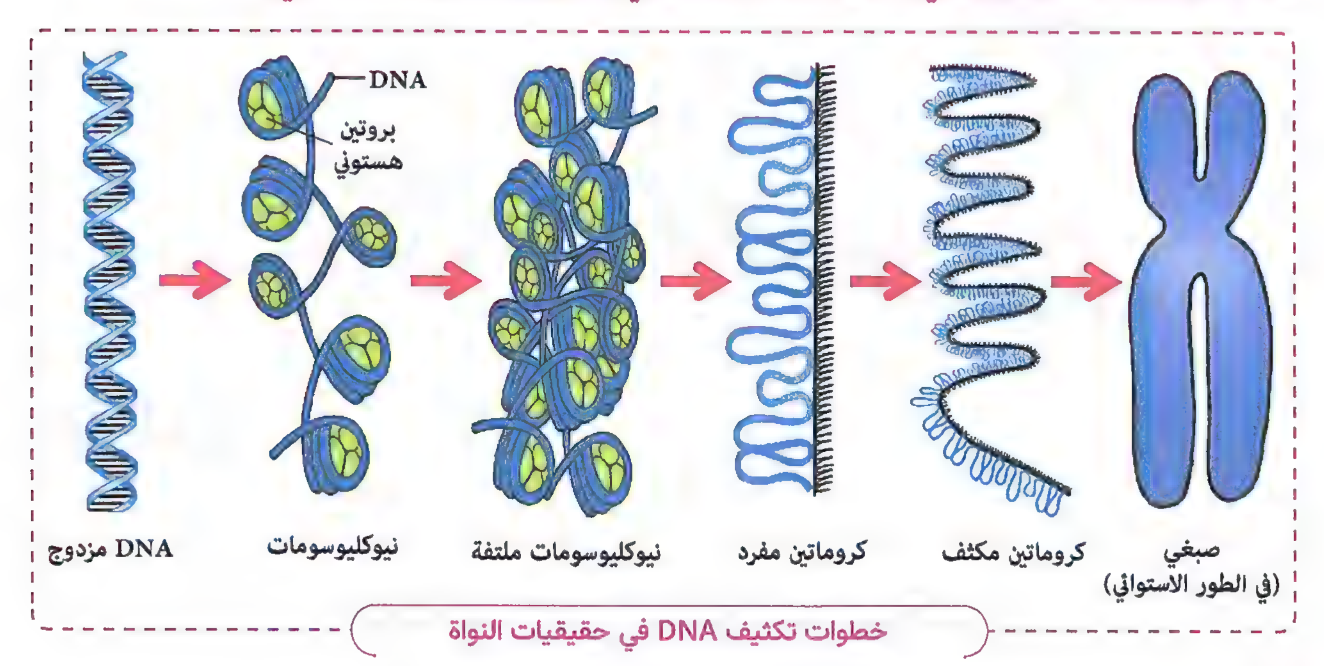
الأهمية البيولوجية	• ترتبط بقوة بمجموعات الفوسفات السالبة الموجودة في جزيء DNA ، وذلك لأن مجموعة الألكيل الجانبية للحمضين الأمينيين (الأرچينين والليسين) تحمل شحنات موجبة عند الأس الهيدروجيني (pH) العادي للخلية. • مسئولة عن تقصير جزيء DNA عشر مرات عن طريق تكوين حلقات من النيوكليوسومات.	١ البروتينات التركيبية: تلعب دورًا رئيسًا في التنظيم الفراغي لجزيء DNA داخل النواة كما أنها مسئولة عن تقصير جزيء DNA حوالي ١٠٠,٠٠٠ مرة عن طريق تكوين الكروماتين المكثف. ٢ البروتينات التنظيمية: تحدد ما إذا كانت شفرة DNA (DNA Code) ستستخدم في بناء RNA والبروتينات والإنزيمات أم لا.
تكثيف DNA	مسئولة عن تقصير DNA في المراحل الأولى من عملية تكثيف DNA.	مسئولة عن تقصير DNA في المراحل الأخيرة من عملية تكثيف DNA.

تكثيف DNA

إذا تصورنا أنه يمكن فك اللولب المزدوج لجزيء DNA في كل صبغي ووضع هذه الجزيئات على امتداد بعضها البعض لوصل طولها ٢ متر لذا تقوم الهستونات وغيرها من البروتينات بمسئولية تكثيف (ضم) الجزيئات الطويلة لتقع في حيز نواة الخلية التي يتراوح قطرها من ٢ : ٣ ميكرون.

خطوات تكثيف DNA:

لقد أوضح التحليل البيوكيميائي وصور المجهر الإلكتروني أن جزيء DNA يتكاثف كالآتي:



خطوات تكثيف DNA في حقيقيات النواة

١ يلتف جزيء DNA حول مجموعات من البروتينات الهستونية مكونًا حلقات من النيوكليوسومات، مما يؤدي إلى تقصير طول جزيء DNA عشر مرات ولكن لا بد أن يقصر DNA ١٠٠,٠٠٠ مرة حتى تستوعبه النواة.

النيوكليوسومات

حلقات في الصبغي تتكون من التفاف جزيء DNA حول مجموعة من البروتينات الهستونية، وذلك لتقصير طول جزيء DNA عشر مرات.

٢ تلتف حلقات النيوكليوسومات مرة أخرى لتنضم مع بعضها البعض ولكن هذا أيضًا لا يكفي لتقصير جزيء DNA إلى الطول المطلوب.

٣ ترتب أشرطة النيوكليوسومات الملتفة بشدة على شكل حلقة كبيرة بواسطة البروتينات التركيبية غير الهستونية مكونة بذلك الكروماتين المكثف (الملتف والمكدس).

كروماتين
صبغي
نيوكليوسوم
بروتين هستوني
DNA
نيوكليوسومات ملتفة

خطوات تكثيف DNA في حقيقيات النواة

ملحوظات

- توجد النيوكليوسومات في خلايا حقيقيات النواة مثل الأميبا، بينما لا توجد النيوكليوسومات في خلايا أوليات النواة مثل البكتيريا.
- توجد البلازميدات في خلايا أوليات النواة مثل البكتيريا، بينما لا توجد البلازميدات في خلايا حقيقيات النواة ماعدا خلايا فطر الخميرة.
- لا تستطيع إنزيمات التضاعف والنسخ التعرف على DNA والعمل عليه عندما يكون في صورة كروموسوم أو كروماتين، بينما تستطيع هذه الإنزيمات التعرف على DNA عندما يكون في صورة نيوكليوسومات مفردة أو لولب مزدوج.
- يتعين فك التفاف أو تكدس جزيء DNA قبل أن يعمل كقالب لبناء DNA أو RNA ؛ لوجود بروتينات غير هستونية تركيبية تعمل على التفاف وتكدس جزيء DNA في صورة كروماتين مكثف لا تصله الإنزيمات الخاصة لتضاعفه فيلزم فك هذا الالتفاف أو التكدس على الأقل إلى مستوى شريط مفرد من النيوكليوسومات لضمان وصول إنزيمات التضاعف إليه.
- عمليتا فك وتكثيف DNA تخضعان لسيطرة بعض الإنزيمات والبروتينات التنظيمية حسب حاجة الخلية ووظيفتها.

مثال:

- خلايا الغدة الدرقية المسئولة عن إفراز هرمون الثيروكسين يتم فيها فك التفاف DNA عند مواضع الجينات المسئولة عن تكوين الثيروكسين بشكل دوري، بينما يتم فيها تكثيف وضم DNA عند مواضع الجينات المسئولة عن تكوين الإنسولين بشكل مستمر كي لا تصل إنزيمات النسخ إليه.

تركيـب المحتـوى الجينـي Genome

توصـل الباحثـون عـام ١٩٧٧م إلـى طريقـة يمكـن بهـا تحديـد تتابعـات النيوكليوتيـدات فـي جزيئـات DNA، RNA مـما أدى إلـى معرفـة ترتيـب الجينـات داخـل جزيئـات DNA فـي الخليـة.

المحتوى الجيني

كل الجينـات وبالتالـي كل DNA الموجـود في الخلية.

✪ درجة النشاط الجيني: تختلف من كائن حي لآخر كالتالي:

المحتوى الجيني في أوليات النواة	المحتوى الجيني في حقيقيات النواة
تمثـل الجينـات المسئولة عـن بنـاء RNA والبروتينـات معظـم المحتـوى الجينـي.	أقـل مـن ٧٠٪ مـن الجينـات مسـئولة عـن بنـاء RNA والبروتينـات وباقـي الجينـات غيـر معلومـة الوظيفـة.

✪ أمثلة على الجينات:

١ تتابع النيوكليوتيدات المسئولة عن بناء المركبات البروتينية عن طريق نسخ mRNA)).

٢ تتابـع النيوكليوتيـدات التـي ينسـخ منهـا جزيئـات RNA الريبوسـومي (rRNA) الـذي يدخـل فـي بنـاء الريبوسـومات.

٣ تتابـع النيوكليوتيـدات التي ينسـخ منهـا جزيئـات RNA الناقـل (tRNA) الـذي يحمـل الأحمـاض الأمينيـة أثنـاء بنـاء البروتيـن.

- **التكـرار:** توجـد معظـم جينـات المحتـوى الجينـي للخليـة بنسـخة واحـدة عـادة إلا أن بعـض التتابعـات يوجـد منهـا نسـخ مكـررة، مثـل:

أ الجينـات الخاصـة ببنـاء RNA الريبوسـومي والهسـتونات التـي تحتاجهـا الخليـة بكميـات كبيـرة حيـث وجـد أن العديـد مـن نسـخ هـذه الجينـات تعمـل علـى سـرعة إنتـاج الخليـة للريبوسـومات والهسـتونات، ولذلـك يوجـد منهـا مئـات النسـخ فـي كل خلايـا حقيقيـات النـواة.

ب تتابـع النيوكليوتيـدات القصيـر (A – G – A – A – G) فـي الدروسـوفيلا (ذبابـة الفاكهـة) والـذي يتكـرر حوالـي (١٠٠,٠٠٠ مـرة) فـي منتصـف أحـد الصبغيـات وهـذا التتابـع وغيـره مـن التتابعـات لا يمثـل أي شـفرة (وظيفتـه غيـر معروفـة).

✪ النسخ والترجمة:

• بعض الجينات لها شفرة على DNA ويتم ترجمتها إلى بروتينات تركيبية أو وظيفية.

مثل: جينات تصنيع بروتين الكولاچين أو هرمون الأنسولين.

• بعض الجينات ليس لها شفرة على DNA وبالتالي لا يتم ترجمتها إلى بروتينات.

– مثل:

• الحبيبات الطرفية الموجودة عند أطراف بعض الصبغيات.
• كمية كبيرة من DNA في المحتوى الجيني لحقيقيات النواة مثل النبات والحيوان.

– الوظيفة:

• يعتقد أنه يعمل على احتفاظ الصبغيات بتركيبها.
• تمثـل إشـارات للمنـاطق التي يجب أن يبـدأ عندها بناء RNA الرسـول (mRNA) وتعتبـر هذه المنـاطق هامـة فـي بنـاء البروتيـن وتسـمى بـ«المحفـز».

ملحوظات

- ليست هناك علاقة بين كمية DNA الموجودة في المحتوى الجيني ومقدار رقي وتعقد الكائن الحي..

(أو) لا تتوقف كمية البروتين على كمية DNA في الخلايا ... فسر؟

- حيث لاحظ العلماء أن كمية صغيرة فقط من DNA في كل من النبات والحيوان هي التي تحمل شفرة بناء البروتينات فمثلًا حيوان السلمندر يوجد به أكبر محتوى جيني حيث تحتوي خلاياه على كمية DNA تعادل ٣٠ مرة قدر كمية DNA الموجودة في الخلايا البشرية ومع ذلك تنتج خلاياه كمية أقل من البروتين وذلك لوجود كمية كبيرة من DNA به لا تمثل شفرة.

للاطلاع فقط

- الحبيبات الطرفية الموجودة في أطراف الصبغيات تحمي الصبغيات من التحلل بواسطة الإنزيمات الهاضمة أثناء تضاعف DNA.


حيوان السلمندر

الإنسان	• قطر نواة الخلية في الإنسان يتراوح بين (٢ : ٣) ميكرون. • طول جزيء DNA في الخلايا الجسدية للإنسان إذا تم فك اللولب المزدوج ووضع جزيئاته على امتداد بعضها البعض حوالي ٢ متر. • طول جزيء DNA في حيوان منوي واحد إذا تم فك اللولب المزدوج ووضع جزيئاته على امتداد بعضها البعض حوالي ١ متر.
حيوان السلمندر	• عدد جزيئات DNA في الخلايا الجسدية لحيوان السلمندر= ٣٠ ×٤٦= ١٣٨٠ جزيء. • طول جزيئات DNA في الخلية الجسدية الواحدة لحيوان السلمندر إذا تم فك اللولب المزدوج ووضع جزيئاته على امتداد بعضها البعض= ٦٠ متر. • طول جزيئات DNA في حيوان منوي واحد لحيوان السلمندر إذا تم فك اللولب المزدوج ووضع جزيئاته على امتداد بعضها البعض= حوالي ٣٠ متر.
بكتيريا إيشيريشيا كولاي	• طول المنطقة النووية في بكتيريا إيشيريشيا كولاي ٠,١ من حجم الخلية البكتيرية. • طول جزيء DNA في بكتيريا إيشيريشيا كولاي إن أمكن فرده حوالي ١,٤ مم. • طول الخلية البكتيرية نفسها يصل إلى حوالي ٢ ميكرون.

- مقارنة بين أوليات النواة وحقيقيات النواة:

	أوليات النواة Prokaryotes	حقيقيات النواة Eukaryotes
الحجم	أقل حجمًا.	أكبر حجمًا.
عدد الخلايا	وحيدة الخلية.	معظمها عديدة الخلايا.
النواة	لا تحاط المادة الوراثية بغشاء نووي يفصلها عن السيتوبلازم.	تحاط المادة الوراثية بغشاء نووي يفصلها عن السيتوبلازم.
العضيات الغشائية (مثل الميتوكوندريا)	لا توجد.	توجد.

العضيات غير الغشائية (مثل الريبوسومات)	توجد وتكون أقل حجمًا.	توجد وتكون أكبر حجمًا.
طريقة التكاثر السائدة	الانشطار الثنائي البسيط.	تتكاثر لاجنسيًا أو جنسيًا باختلاف نوع الكائن الحي.
تضاعف DNA	تبدأ عملية تضاعف DNA عند نقطة اتصاله مع الغشاء البلازمي للخلية.	تبدأ عملية تضاعف DNA من عند أي نقطة على امتداد جزيء DNA في الصبغي.
اتصال المادة الوراثية بالغشاء البلازمي	تتصل بالغشاء البلازمي عند نقطة أو أكثر.	لا تتصل بالغشاء البلازمي.
مثال	البكتيريا (مكان الاتصال بالغشاء البلازمي - المادة الوراثية - بلازميد - DNA)	خلايا الإنسان (غشاء النواة - النواة - المادة الوراثية - DNA - بروتينات هيستونية)

أسئلة الأداء الذاتي:

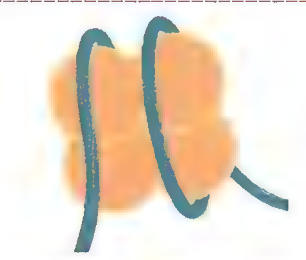
1. من خلال دراستك للجدول المقابل الذي يوضح عدد مجموعات الفوسفات الحرة في المادة الوراثية لثلاث خلايا، أجب عن السؤال التالي :

الخلايا	الخلية (س)	الخلية (ص)	الخلية (ع)
عدد مجموعات الفوسفات الحرة	46	٩٢	صفر

ما الخلايا المشار إليها بالرموز س ، ص ، ع ؟

	الخلية (س)	الخلية (ص)	الخلية (ع)
أ	حيوان منوي لإنسان	خلية كبد لإنسان	خلية بكتيرية
ب	خلية كبد لإنسان	ليفة عضلية هيكلية لإنسان	خلية فطر الخميرة
ج	خلية كبد لإنسان	ليفة عضلية هيكلية لإنسان	خلية بكتيرية
د	حيوان منوي لإنسان	خلية كبد لإنسان	خلية فطر الخميرة

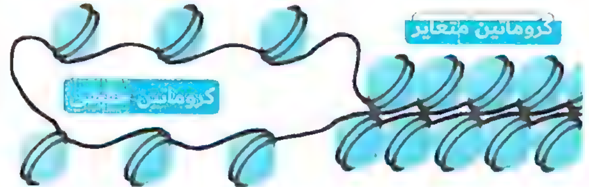
2. يمكن رؤية التركيب الموضح بالشكل المقابل في جميع الكائنات الحية التالية ماعدا ....



(أ) بلازموديوم الملاريا
(ب) النوستوك
(ج) الخميرة
(د) البنسليوم

٣ يوجد الكروماتين في هيئتين : «كروماتين حقيقي» عندما يكون خفيف الالتفاف وغير مكثف، و«كروماتين متغاير» عندما يكون شديد الالتفاف والتكثيف، كما هو موضح بالشكل التالي :

أي من الخيارات التالية يمثل وجود كل من الهيئتين أثناء دورة الخلية ؟



	الطور البيني	طور الإنقسام
Ⓐ	كروماتين حقيقي فقط	كروماتين حقيقي ومتغاير
Ⓑ	كروماتين حقيقي ومتغاير	كروماتين متغاير فقط
Ⓒ	كروماتين متغاير فقط	كروماتين حقيقي فقط
Ⓓ	كروماتين حقيقي فقط	كروماتين متغاير فقط

---

٤ من خلال دراستك للمخطط التالي :

DNA غير المشفر
DNA المشفر


(س)


(ص)

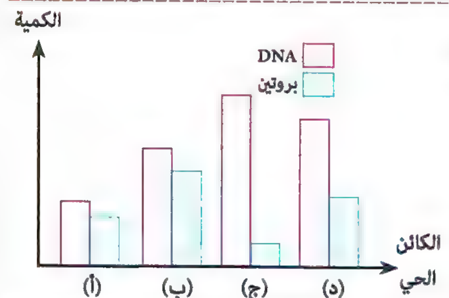

(ع)

ما الكائنات المشار إليها بالرموز (س)، (ص)، (ع) على الترتيب ؟

Ⓐ الشمبانزي، السلمندر، إيشريشيا كولاي
Ⓑ إيشريشيا كولاي، الشمبانزي، السلمندر
Ⓒ إيشريشيا كولاي، السلمندر، الشمبانزي
Ⓓ السلمندر، الشمبانزي، إيشريشيا كولاي

---

٥ الرسم البياني يوضح النسبة بين كمية DNA وكمية البروتين التي تنتجها أربع خلايا لكائنات حية مختلفة، ما الذي يمكن استنتاجه بالنسبة للكائن (أ) ؟



Ⓐ يعتبر من أوليات النواة
Ⓑ يعتبر من حقيقيات النواة
Ⓒ صاحب أكبر محتوى جيني
Ⓓ كمية DNA التي تمثل الشفرة أقل من ٧٠٪

الطفرات Mutations

الطفرات

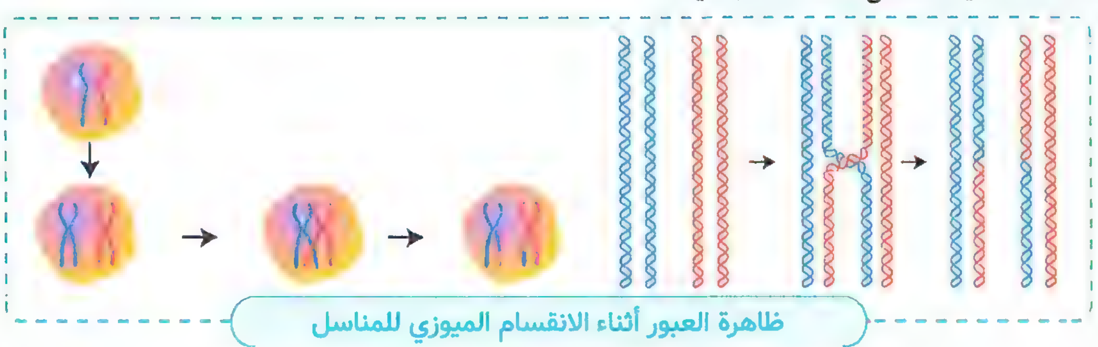
تغيرات مفاجئة في طبيعة العوامل الوراثية التي تتحكم في صفات معينة مما يؤدي إلى تغير هذه الصفات في الكائن الحي.

✪ أسباب الحدوث:

١ تغير تركيب العامل الوراثي (الجين).
٢ تأثيرات البيئة المحيطة.
٣ تغير عدد الصبغيات أثناء الانقسام.

ملحوظات

- بعـــض عوامـــل البيئـــة المحيطة قد تغيـــر من صفـــات الكائن الحي ومـــع ذلك لا تعتبـــر طفرة؛ لأنـــه لم يصاحبهـــا تغير في تركيـــب العوامل الوراثيـــة (الجينات) مثـــل ظهور الســـمنة نتيجة الإفراط فـــي الأكل وقلة الحركة والنشـــاط.
- قد يطرأ على تركيب الصبغي بعض التغيرات التي لا تعتبر طفرة، مثل:
  - انعزال الجينات أثناء الانقسام الميوزي للمناسل ويظهر ذلك بوضوح في الجينات السائدة الهجينة.
  - انفصـــال الجينات وإعـــادة اتحادها أثناء عملية العبور (الانقســـام الميـــوزي) حيث تتبادل بعض الجينات بين الكروموســـومات المتماثلـــة مما يضمن تنوع الصفـــات الوراثية.


ظاهرة العبور أثناء الانقسام الميوزي للمناسل

تصنيـف الطفـرات

أولا: تبـعا لتوارثها

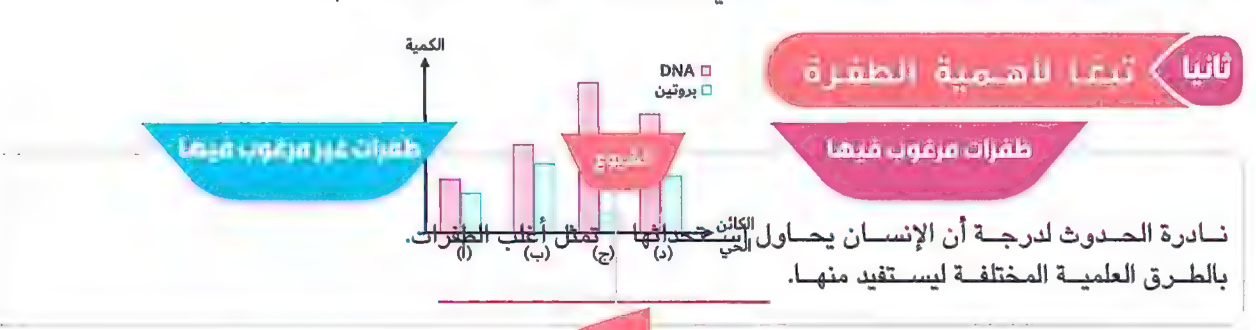
١ طفـرة حقيقيـة

تتوارث على مدى الأجيال المتتالية وتظهر في النسل مثل سلالة الأغنام أنكن وظاهرة التحول البكتيري.

٢ طفـرة غيـر حقيقيـة

لا تتوارث على مدى الأجيال المتتالية ولا تظهر في النسل مثل ذكر كلاينفلتر لأنه عقيم.

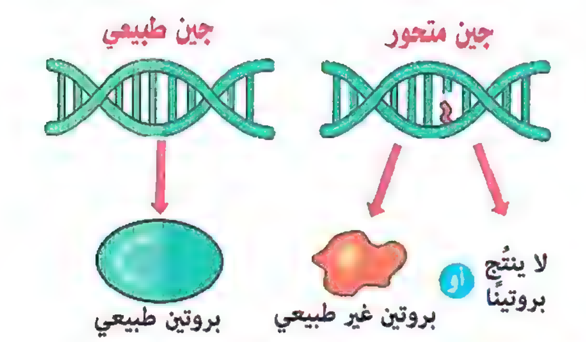
ثانيا: تبـعا لأهمية الطفرة



طفرات غير مرغوب فيها	النوع	طفرات مرغوب فيها
تمثل أغلب الطفرات.		نـادرة الحـدوث لدرجـة أن الإنسـان يحـاول استحداثها بالطـرق العلميـة المختلفـة ليسـتفيد منهـا.
• بعض التشوهات الخلقية في الإنسان. • العقم فـي النباتـات والـذي يصاحبـه نقص فـي إنتـاج المحصول.	الأمثلة	• الطفـرة التـي حدثـت فـي قطيـع أغنـام كان يمتلكـه فـلاح أمريكـي حيـث لاحـظ ظهـور خـروف فـي قطيعـه لـه أرجل قصيـرة ومقوسـة واعتبرهـا الفـلاح صفـة نافعـة حيث لـم يسـتطع الخـروف تسـلق سـور الحظيـرة وإتـلاف النباتـات المزروعـة فاهتـم بهـا حتـى نشـأت عنهـا سـلالة كاملـة تعـرف باسـم «أنكن Ancon». • الطفـرات التـي أدت إلـى زيـادة إنتـاج المحاصيل النباتيـة.

ثالثا تبعًا لنوع الطفرة

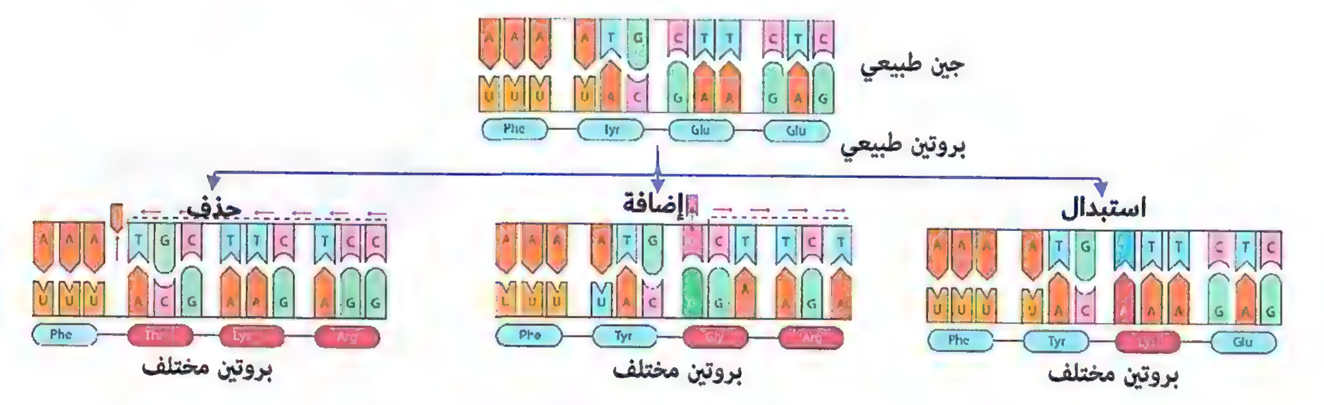
١ الطفـرات الجينية



✪ **سبب حدوثها:** تغير كيميائي في تركيب الچين خاصة نتيجة تغيير ترتيب القواعد النيتروجينية في جزيء DNA.

✪ **آلية الحدوث:** تنشأ الطفرات الچينية نتيجة:

- استبدال النيوكليوتيدة بأخرى من نوع مختلف.
- إضافة نيوكليوتيدة جديدة إلى تركيب الچين.
- حذف أو نقص نيوكليوتيدة من تركيب الچين.



✪ **النتائج المترتبة على الطفرات الجينية:**

١ يؤدي إلى تكوين بروتين مختلف يعمل على ظهور صفة جديدة، مثل حدوث طفرة في الچين المسئول عن تكوين الأنسولين في خلايا بيتا بالبنكرياس ينتج عنه عدم تكون الأنسولين وبالتالي الإصابة بمرض البول السكري.

٢ قد يصاحب التغير في التركيب الكيميائي للچين تحوله من چين سائد إلى متنحٍ وقد يحدث العكس في حالات نادرة

٢ الطفـرات الصبغية

✪ **سبب حدوثها:** التغير في أعداد أو تركيب الصبغيات.

✪ **صوره:**

١ التغير في عدد الصبغيات

نقص أو زيادة صبغي واحد أو أكثر في الأمشاج بعد الانقسام الميوزي.

✪ **أمثلة:**

١- متلازمة كلاينفلتر. ٢- متلازمة تيرنر. ٣- التضاعف الصبغي.

	متلازمة كلاينفلتر	متلازمة تيرنر
التركيب الوراثي	XXY+ ٤٤	X + ٤٤
الجنس	ذكر بسبب وجود الصبغي Y.	أنثى بسبب غياب الصبغي Y.
آلية حدوث الطفرة	زيادة صبغي جنسي واحد X في الأمشاج أثناء الانقسام الميوزي.	نقص صبغي جنسي واحد X في الأمشاج أثناء الانقسام الميوزي.
توارث الطفرة	طفرة صبغية غير حقيقية (ذكر عقيم).	طفرة صبغية غير حقيقية (أنثى عقيمة).
الخصائص	يظهر عليه صفات الأنوثة مثل التثدي ونعومة الصوت بسبب وجود نسختين من الكروموسوم X.	لا تظهر عليها علامات البلوغ مثل الدورة الشهرية وكبر حجم الثدي بسبب وجود نسخة واحدة فقط من الكروموسوم X.
شكل توضيحي	نقص شعر الوجه نقص شعر الجسم زيادة حجم الثدي	ضعف نمو الثدي قصور نمو المبيضين

التضاعف الصبغي Polyploidy

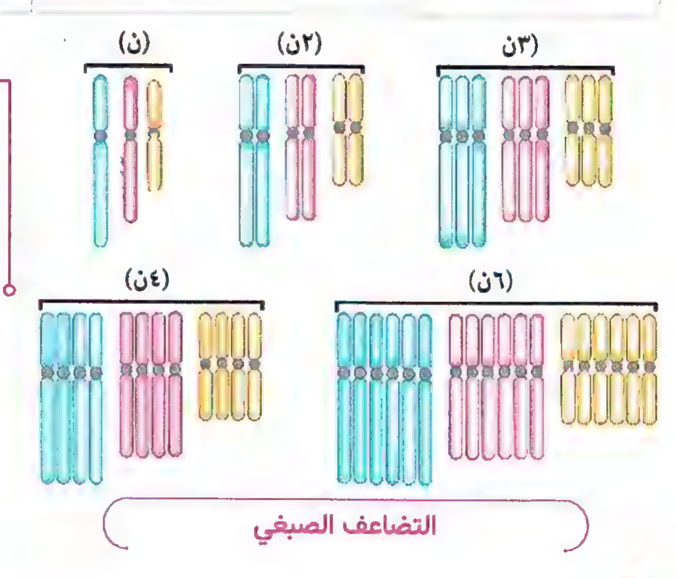
أسبابه:

١ عدم انفصال الكروماتيدات بعد انقسام السنترومير.

٢ عدم تكون الغشاء الفاصل بين الخليتين البنويتين.



	التضاعف الصبغي في عالم النبات	التضاعف الصبغي في عالم الحيوان
الشيوع	أكثر شيوعًا فنسبة كبيرة من النباتات المعروفة تكون (٣ن - ٤ن - ٦ن - ٨ن حتى ١٦ن) وذلك عندما تتضاعف الصبغيات في الأمشاج.	أقل شيوعًا؛ لأن تحديد الجنس في الحيوان يتطلب توازنًا دقيقًا بين عدد كل من الصبغيات الجسدية والجنسية.
النتائج المترتبة	ينتج عنه أفراد ذات صفات جديدة، ويرجع ذلك إلى أن كل جين يكون ممثل بعدد أكبر فيكون تأثيره أكثر وضوحًا فيكون النبات أكثر طولًا وتكون أعضاؤه أكبر حجمًا وبخاصةً الأزهار والثمار.	في الإنسان يكون التضاعف الثلاثي مميتًا ويسبب إجهاضًا للأجنة ومع ذلك يوجد تضاعف صبغي في بعض خلايا الكبد والبنكرياس.
الأمثلة	يوجد حاليًا في الكثير من المحاصيل والفواكه مثل (القطن، القمح، العنب، الفراولة، الكمثري، التفاح) ذات التعدد الرباعي (٤ن).	يقتصر وجوده على بعض الأنواع الخنثى من القواقع والديدان التي لا يوجد لديها مشكلة في تحديد الجنس.



التضاعف الصبغي

للاطلاع فقط

- التضاعف الصبغي في بعض خلايا الكبد والبنكرياس يتلاءم مع معدل النشاط العالي في كل منهما حيث تضمن وجود كمية أكبر من الجينات النشطة تمكنها من إنتاج كميات كبيرة من الإنزيمات والعصارات الهاضمة والهرمونات التي تتحكم في مختلف وظائف الجسم.

٢ التغير في تركيب الصبغيات

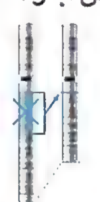
تغير ترتيب الجينات على نفس الصبغي.

أسبابه:

١ انفصال قطعة من الصبغي أثناء الانقسام والتفافها حول نفسها بمقدار ١٨٠ والتحامها في الوضع المقلوب على نفس الصبغي.

٢ تبادل أجزاء من صبغيات غير متماثلة.

٣ زيادة أو نقص جزء صغير من الصبغي.



رابعًا: تبعًا لمكان حدوث الطفرة

طفرات مشيجية		طفرات جسمية
تحدث غالبًا في الخلايا التناسلية.	مكان الحدوث	تحدث في الخلايا الجسدية (الجسمية).
تظهر كصفات جديدة على الجنين الناتج.	التأثير	تظهر كأعراض مفاجئة بالعضو الذي تحدث بخلاياه.
تتم في الكائنات الحية التي تتكاثر تزاوجيًا.	الانتشار	أكثر شيوعًا في النباتات التي تتكاثر خضريًا حيث ينشأ فرع جديد من النبات العادي يحمل صفات مختلفة عن النبات الأم، ويمكن فصل هذا الفرع وإكثاره خضريًا إذا كانت الصفة الجديدة مرغوبًا فيها.
معظمها طفرات حقيقية تورث ماعدا ذكر كلاينفلتر وأنثى تيرنر.	التوارث	معظمها طفرات غير حقيقية لا تورث إلا فقط في النباتات التي لها القدرة على التكاثر الخضري.

ملحوظات

- انفصال قطعة من الصبغي أثناء انقسام الخلية والتفافها حول نفسها بمقدار ١٨٠ درجة وإعادة التحامها مع الصبغي مرة أخرى ينتج عنه طفرة صبغية نتيجة حدوث تغير في التركيب الصبغي.
- انفصال قطعة من الصبغي أثناء انقسام الخلية والتفافها حول نفسها بمقدار ٣٦٠ درجة وإعادة التحامها مع الصبغي مرة أخرى لا ينتج عنه طفرة بسبب عدم حدوث تغير في تركيب الصبغي.
- حدوث تغير في ترتيب القواعد النيتروجينية ينشأ عنه طفرة جينية، بينما حدوث تغير في ترتيب الجينات على نفس الصبغي ينشأ عنها طفرة صبغية.

خامسًا: تبعًا لمنشأ الطفرة

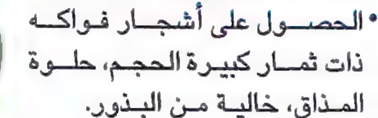
الطفرة التلقائية		الطفرة المستحدثة
طفرة تحدث دون تدخل الإنسان وهي نادرة الحدوث في جميع الكائنات الحية.	التحكم في الحدوث	طفرة تحدث بتدخل الإنسان للحصول على طفرات مرغوبة في كائنات معينة وهي أكثر شيوعًا من التلقائية.
تحدث بسبب تأثيرات البيئة المحيطة بالكائن الحي مثل: – الأشعة فوق البنفسجية. – الأشعة الكونية. – المركبات الكيميائية.	سبب الحدوث	يستحدثها الإنسان عن طريق: • عوامل طبيعية مثل: أشعة إكس، أشعة جاما، الأشعة فوق البنفسجية. • مواد كيميائية مثل: غاز الخردل، مادة الكولشيسين، حامض النيتروز. فعند معالجة النبات بهذه المواد تضمر خلايا القمة النامية للنبات وتموت ليتجدد تحتها أنسجة جديدة تحتوي خلاياها على عدد مضاعف من الصبغيات.

الأهمية

تلعب دورًا هامًا في عملية تطور الأحياء (الكائنات الحية).

أغلبها يحمل صفات غير مرغوب فيها غير أن الإنسان ينتقي منها ما هو نافع.

من أمثلة الطفرات النافعة:

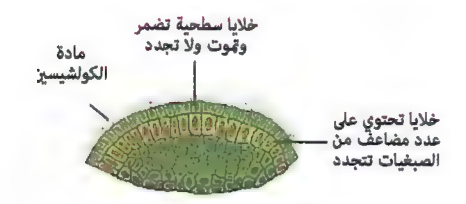




- الحصول على أشجار فواكه ذات ثمار كبيرة الحجم، حلوة المذاق، خالية من البذور.
- إنتاج كميات كبيرة من المضادات الحيوية من كائنات دقيقة، مثل: (البنسلين من فطر البنسليوم).

للاطلاع فقط

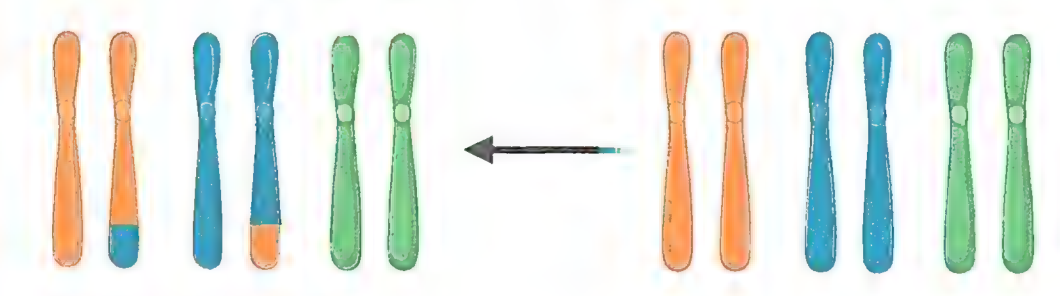
- مادة الكولشيسين تؤدي إلى موت الخلايا السطحية في القمة النامية للنبات بينما تمنع تكوين خيوط المغزل التي تفصل الكروموسومات عن بعضها أثناء الطور الانفصالي لانقسام الخلايا السفلية وبالتالي لا تنفصل الكروموسومات عن بعضها وتنشأ خلايا بها عدد مضاعف من الصبغيات.





أسئلة الأداء الذاتي:

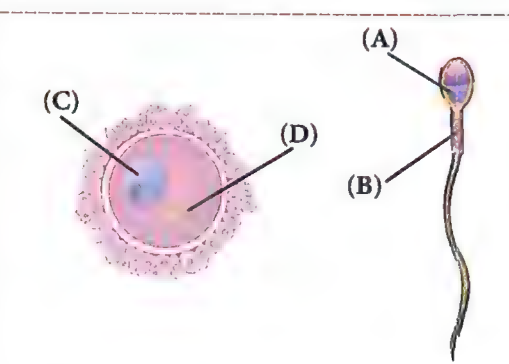
٦ أي البدائل التالية تصف العملية الموضحة بالشكل المقابل ؟



(أ) الشكل يمثل حدوث طفرة كروموسومية حقيقية
(ب) الشكل لا يعبر عن طفرة بينما يمثل ظاهرة العبور الوراثي
(ج) الشكل يمثل حدوث طفرة جينية حقيقية
(د) الشكل يمثل طفرة كروموسومية غير حقيقية

٧ أي مما يلي إذا حدث به طفرة فإنها تعتبر طفرة غير حقيقية في الإنسان ؟

(أ) A
(ب) B
(ج) C
(د) D



٨ أي مما يلي يصف الفرق بين الطفرة في سلالة أنكن في الأغنام والطفرة في فطر البنسليوم؟

Ⓐ الأهمية　Ⓑ إمكانية التوريث　Ⓒ المنشأ والأهمية　Ⓓ المنشأ ومكان الحدوث



٩ ما نوع الطفرة الموضحة في الشكل المقابل عند حدوثها أثناء التكوين الجنيني ؟

أ) طفرة جسمية حقيقية

ب) طفرة مشيجية غير حقيقية

ج) طفرة جسمية غير حقيقية

د) طفرة مشيجية حقيقية

الصفة الطبيعية　　الصفة الناتجة





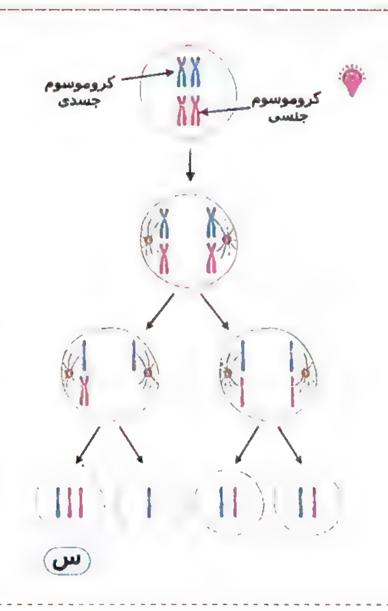
١٠ من الشكل المقابل، أي البدائل التالية قد تعبر عن ناتج إخصاب البويضة (س) ؟

أ) لن يتكون جنين بسبب حدوث التضاعف الصبغي

ب) يتكون ذكر مصاب بمتلازمة كلاينفلتر

ج) تتكون أنثى مصابة بمتلازمة تيرنر

د) تتكون أنثى مصابة بمتلازمة داون





الفصل الثاني 2

الأحماض النووية وتخليق البروتين

أهداف الفصل

في نهاية هذا الفصل ينبغي أن يكون الطالب قادرًا على أن

- يتعرف أنواع البروتينات.
- يتعرف تركيب الحمض النووي RNA.
- يقارن بين أنواع الحمض النووي RNA الثلاثة (الريبوسومي – الناقل الرسول).
- يتعرف الشفرة الوراثية.
- يتعرف خطوات تخليق البروتين .
- يتعرف تقنيات التكنولوجيا الجزيئية الحديثة.
- يتعرف مفهوم الجينوم البشري وأهمية ذلك في
- مجال صناعة العقاقير.
- يقدر عظمة الخالق فيما يتعلق بالمعلومات الوراثية
- ودورها في تمييز البشر بصفات تختلف من فرد لآخر.

الدرس 1

RNA وتخليق البروتين

الدرس 2

التكنولوجيا الجزيئية «الهندسة الوراثية»

أهم المفاهيم

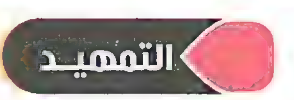
- المحفز
- الشفرة الوراثية
- الكودون
- تفاعل نقل الببتيديل.
- عامل الإطلاق.
- عديد الريبوسوم.
- DNA المهجن
- إنزيمات القصر أو القطع
- البكتيرية
- استنساخ تتابعات DNA
- DNA معاد الإتحاد.
- الجينوم البشري.



الفصل 2

الــدرس الأول

RNA وتخليق البروتين



التمهيد

يدخل في تركيب أجسام الكائنات الحية آلاف الأنواع من البروتينات التي يمكن تقسيمها تبعًا لأهميتها البيولوجية بالنسبة للكائن الحي إلى نوعين أساسيين هما:

	البروتينات التركيبية	البروتينات التنظيمية (الوظيفية)
المفهوم	تدخل في تراكيب محددة في خلايا الكائن الحي.	تنظم العمليات الحيوية التي تتعلق بالنشاط البيولوجي لخلايا الكائن الحي.
الأمثلة	• الكولاجين: يدخل في تركيب الأنسجة الضامة التي تربط مكونات الجسم ببعضها، مثل: (العظام ، الأربطة ، الأوتار ، الغضاريف والأغشية المحيطة بالعقد الليمفاوية والغدة الدرقية والخصيتين). • الكيراتين: يدخل في تكوين الأغطية الواقية كالجلد والشعر والريش والحوافر والقرون. • الأكتين والميوسين: يدخل في تركيب العضلات الهيكلية والقلبية وبعض أعضاء الحركة في الكائنات البدائية كالأميبا. • البروتينات الهستونية وغير الهستونية التركيبية التي تشارك في تكثيف DNA.	• الإنزيمات: تعمل كعوامل حفز بيولوجية تزيد من سرعة التفاعلات الكيميائية التي تتم في خلايا الكائنات الحية . • الهرمونات: تمكن الجسم من الاستجابة للتغيرات المستمرة التي تطرأ في بيئته الداخلية والخارجية مثل هرموني الكالسيتونين والباراثورمون اللذين يضبطان مستوى الكالسيوم في الدم. • الأجسام المضادة: تكسب الجسم المناعة ضد الأجسام الغريبة كالبكتيريا. • البروتينات غير الهستونية التنظيمية التي تحدد ما إذا كانت شفرة DNA ستستخدم في بناء RNA وبروتينات أم لا.

للاطلاع فقط

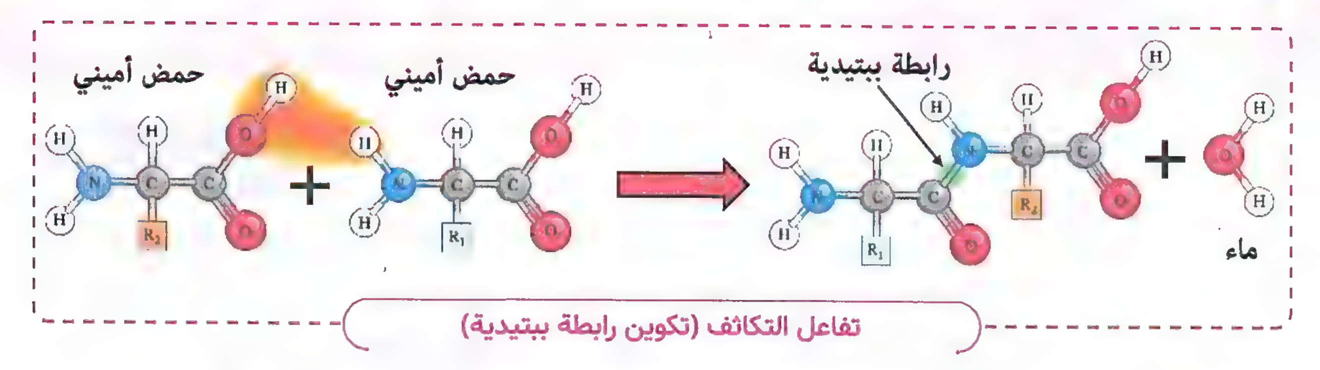
- ليست كل الإنزيمات بروتينية التركيب فبعض الإنزيمات الموجودة في الريبوسوم تتكون من RNA وتساعد هذه الإنزيمات في عملية تصنيع البروتينات في مختلف خلايا الجسم.
- ليست كل الهرمونات بروتينية التركيب فبعض الهرمونات تتكون من مواد دهنية (إستيرويدات) مثل هرمونات قشرة الغدة الكظرية والهرمونات الجنسية وبعضها الآخر يتكون من مشتقات بعض الأحماض الأمينية مثل الثيروكسين والأدرينالين.

الشــرح

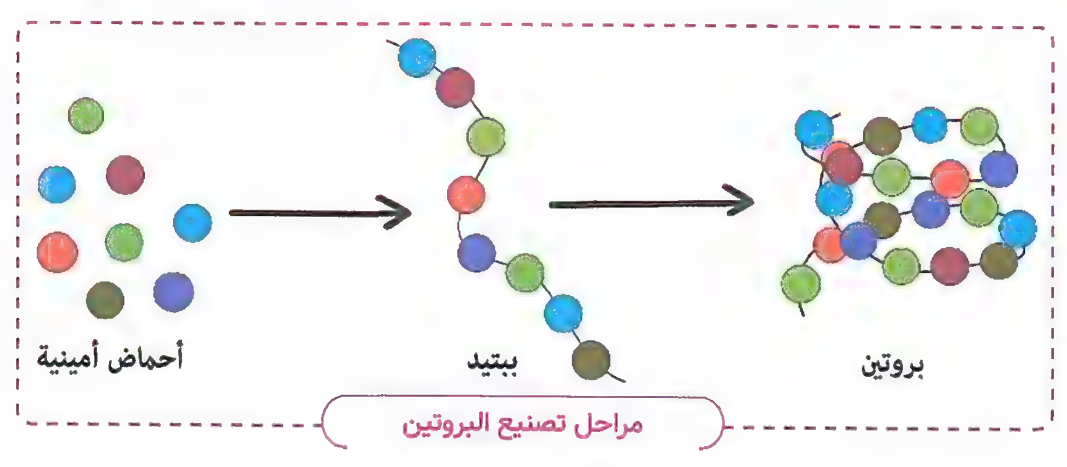
البروتينــات

✪ **الوحدة البنائية:** يدخل في تركيب البروتينات ٢٠ نوعًا من الأحماض الأمينية المختلفة.

✪ **التركيب الكيميائي:** يتكون البروتين من ارتباط عدة سلاسل من عديدات الببتيد ببعضها (الأكثر شيوعا) أو من سلسلة واحدة (الأقل شيوعا) بحيث تتكون كل سلسلة من ارتباط الأحماض الأمينية ببعضها البعض بروابط ببتيدية في تفاعل نازع للماء في وجود إنزيمات خاصة.



تفاعل التكاثف (تكوين رابطة ببتيدية)



مراحل تصنيع البروتين

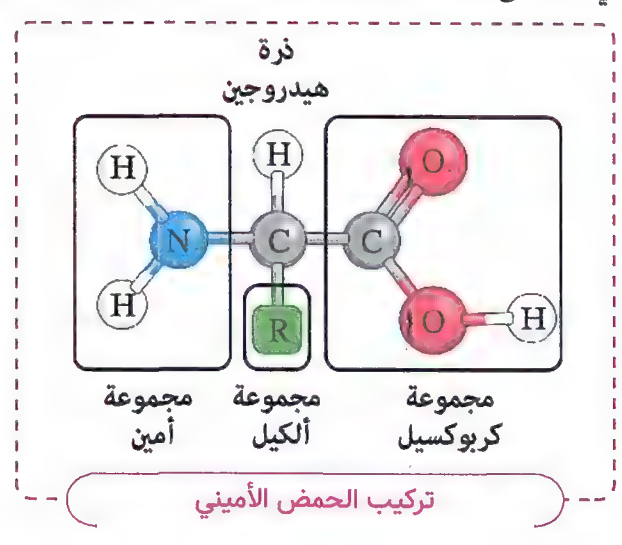
التركيب الكيميائي الحمض الأميني

يتكون كل حمض أميني من ذرة كربون ترتبط بأربع مجموعات طرفية لتحقق التكافؤ الرباعي الملائم لاستقرارها على النحو التالي:

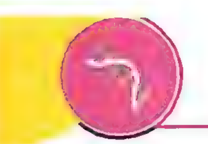
- **ذرة هيدروجين.**
- **مجموعتان وظيفيتان** هما :
  - مجموعة كربوكسيل $(COOH)$: حامضية سالبة الشحنة.
  - مجموعة أمين (NH_2): قاعدية موجبة الشحنة.
- **مجموعة ألكيل:** توجد في ١٩ نوع من الأحماض الأمينية فقط وتختلف من حمض أميني لآخر.

$$\begin{array}{c} H \\ | \\ R-C-COOH \\ | \\ NH_2 \end{array}$$

تركيب الحمض الأميني

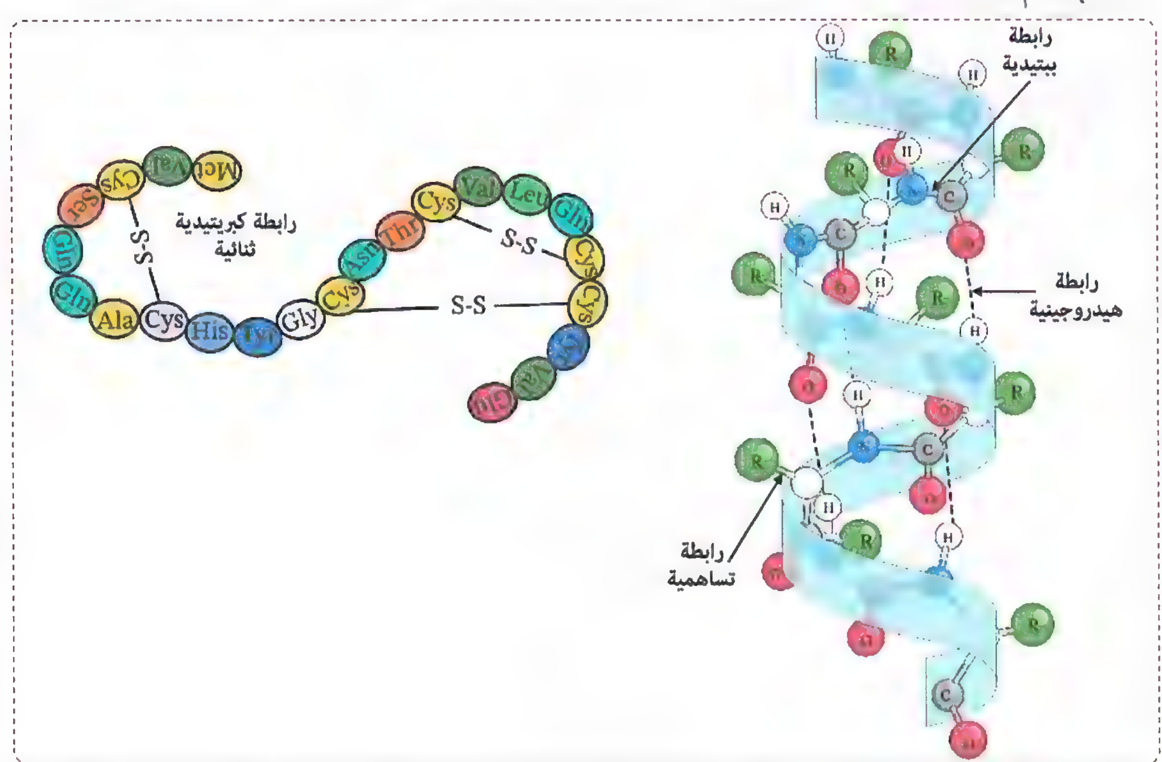


تركيب الحمض الأميني




للاطلاع فقط

- **أنواع الروابط الكيميائية الموجودة في تركيب البروتينات:**
  - روابط تساهمية بين الذرات وبعضها.
  - روابط ببتيدية بين الأحماض الأمينية وبعضها.
  - روابط هيدروجينية تتكون عندما تقع ذرة الهيدروجين بين ذرتين أعلى منها في السالبية الكهربية (مثل: F,O,N) ويعزى إليها اختلاف الشكل الفراغي للبروتينات عن بعضها.
  - روابط كبريتيدية ثنائية بين أحماض أمينية معينة وتوجد هذه الروابط في العديد من البروتينات الهامة مثل الأجسام المضادة.



والسؤال الآن: لماذا يوجد عدد لا حصر له من البروتينات التركيبية والتنظيمية بالرغم من وجود ٢٠ نوع فقط من الأحماض الأمينية ؟

- قد أرجع العلماء ذلك لعدة أسباب منها:

١. اختلاف أعداد وأنواع وترتيب الأحماض الأمينية في البوليمرات (عديدات الببتيد).
٢. عدد البوليمرات التي تدخل في بناء البروتين.
٣. الروابط الهيدروجينية الضعيفة التي تعطي الجزيء شكله المميز ثلاثي الأبعاد.

ملحوظات

- الحمض الأميني (الجلايسين) هو أبسط الأحماض الأمينية؛ لأنه لا يحتوي على مجموعة ألكيل جانبية وإنما يحتوي على ذرة هيدروجين بديلا عنها.
- يرجع اختلاف البروتينات عن بعضها إلى اختلاف الأحماض الأمينية، بينما يرجع اختلاف الأحماض الأمينية عن بعضها إلى اختلاف مجموعة الألكيل.
- عدد الأحماض الأمينية الموجودة في الطبيعة أكثر من ٢٠ حمضًا بينما الأحماض الأمينية التي تدخل في تركيب البروتينات ٢٠ حمضًا أمينيًا فقط، حيث توجد أحماض أمينية غير بروتينية مثل الكانافنين التي تعمل كمواد واقية للنبات.

$$H-\overset{\displaystyle H}{\underset{\displaystyle NH_2}{C}}-COOH$$

الجلايسين

الأحماض النووية الريبوزية (RNAs)

والآن بعد أن تعرفنا معا على التركيب الكيميائي للبروتينات وخصائصها.. هل خطر ببالك يوما كيف تستطيع الخلية تصنيع هذا الكم الهائل من البروتينات دون تداخل بينها وكيف يؤثر الحمض النووي DNA في بروتينات الخلية وكيف يترجم كل جين إلى صفة محددة مثل صفة لون العيون ؟

يعتبر الحمض النووي الريبوزيRNA حلقة الوصل بين الحمض النووي DNA وعملية تخليق البروتينات.

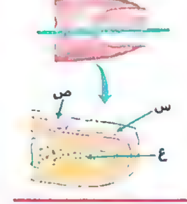
	DNA	RNA
الشكل التوضيحي	سيتوازين C، جوانين G، أدينين A، ثايمين T	سيتوازين C، جوانين G، أدينين A، يوراسيل U
وجه الشبه	• يتكون كل منهما من سلسلة طويلة غير متفرعة من وحدات بنائية من النيوكليوتيدات. • تتكون كل نيوكليوتيدة من (سكر خماسي - قاعدة نيتروجينية - مجموعة فوسفات). • ترتبط مجموعة الفوسفات بذرة الكربون رقم (٥) في جزيء سكر إحدى النيوكليوتيدات وبذرة الكربون رقم (٣) في جزيء سكر النيوكليوتيدة السابقة ليتكون هيكل سكر فوسفات.	
عدد الأشرطة	يوجد غالبا في صورة لولب مزدوج (شريطين متكاملين) من النيوكليوتيدات.	يوجد غالبا في صورة شريط مفرد من الريبونيوكليوتيدات، ولكنه قد يكون مزدوجًا في بعض أجزائه كما في tRNA.
الكمية	ثابتة لا تتغير داخل الخلية.	متغيرة حسب نشاط الخلية.
مكان الوجود	١ النواة. ٢ بعض العضيات، مثل: الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء.	يتكون بالنسخ من DNA داخل النواة ثم ينتقل إلى السيتوبلازم عبر ثقوب الغشاء النووي.

نوع السكر الخماسي	سكر الديوكسي ريبوز (ينقصه ذرة أكسجين عن سكر الريبوز عند ذرة الكربون رقم ٢).	سكر الريبوز.
القواعد النيتروجينية	• البيورينات: (أدينين A - جوانين G). • البيريميدينات: (ثايمين T - سيتوزين C).	• البيورينات: (أدينين A - جوانين G). • البيريميدينات: (يوراسيل U - سيتوزين C).
عدد قواعد البيورينات والبيريميدينات	متساوٍ.	غير متساوٍ بالضرورة.
الثبات الوراثي	ثابت لا يتحلل داخل الخلية.	يتم هدمه وإعادة بنائه باستمرار.
الوظيفة البيولوجية	١ يمثل المادة الوراثية لمعظم الكائنات الحية. ٢ يحمل الجينات المسئولة عن إظهار الصفات الوراثية.	١ يمثل المادة الوراثية لبعض الفيروسات، مثل: فيروس الإيدز وشلل الأطفال. ٢ يشارك في عملية تخليق البروتين.
الأنواع من الناحية التركيبية	نوع واحد فقط.	يوجد ٣ أنواع: - الحمض النووي الرسول mRNA. - الحمض النووي الناقل tRNA. - الحمض النووي الريبوزي rRNA.

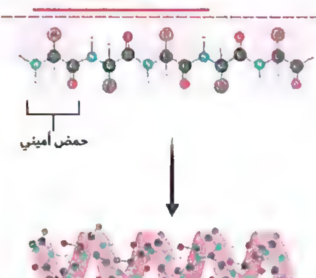
ملحوظات

• عدد أنواع النيوكليوتيدات التي تدخل في تركيب الأحماض النووية يساوي ٨ ؛ لاختلاف السكر الخماسي.
• عدد أنواع القواعد النيتروجينية التي تدخل في تركيب الأحماض النووية يساوي ٥.

أسئلة الأداء الذاتي:



١ من الشكل المقابل، أي الرموز التالية تشير إلى التركيب الذي يحتوي على الكولاجين بشكل أساسي ؟
Ⓐ (س) فقط
Ⓑ (ع) فقط
Ⓒ (س) و(ص)
Ⓓ (س) و(ص) و(ع)



٢ أي مما يلي يفسر حدوث التغيرات الموضحة بالشكل المقابل ؟
Ⓐ الروابط الببتيدية بين الأحماض الأمينية المكونة للبروتين
Ⓑ الروابط الكبريتيدية بين الأحماض الأمينية المكونة للبروتين
Ⓒ الروابط الببتيدية بين سلاسل عديدات الببتيد المكونة للبروتين
Ⓓ الروابط الهيدروجينية بين سلاسل عديدات الببتيد المكونة للبروتين

٣ أي البروتينات الآتية تدخل في تركيب الحراشيف في الزواحف والقشور في الأسماك

Ⓐ ميوسين Ⓑ أكتين Ⓒ كيراتين Ⓓ كولاجين

٤ أي البدائل التالية تمثل وجه الاختلاف بين كل من الموقع (س) والموقع (ص) في الشكل المقابل ؟

Ⓐ وجود الروابط الببتيدية

Ⓑ وجود درجة عالية من التخصص

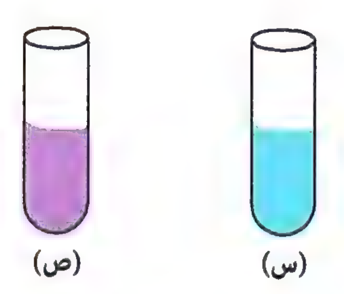
Ⓒ وجود الروابط هيدروجينية

Ⓓ عدد الأحماض الأمينية

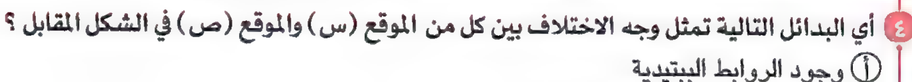


٥ إذا علمت أن مادة البيوريت تتحول من اللون الأزرق إلى اللون البنفسجي في وجود البروتين وتم وضع كمية من مادة البيوريت في أنبوبتي اختبار (س)، (ص) وأضيف إلى كل منهما إفرازات بعض الغدد، فأي البدائل التالية تمثل الغدد المسئولة عن الإفراز المضاف لكل من الكأسين (س)، (ص) ؟

	(س)	(ص)
Ⓐ	الغدد العرقية	الخلايا البينية
Ⓑ	قشرة الغدة الكظرية	البنكرياس
Ⓒ	الغدة النخامية	غدد جارات الدرقية
Ⓓ	الغدد اللعابية	الغدة الدرقية



أنواع الأحماض النووية الريبوزية (RNAs)



- يوجد ثلاثة أنواع من الحمض النووي RNA تسهم في بناء البروتين، وهم:

١- حمض RNA الرسول mRNA. ٢- حمض RNA الريبوسومي r-RNA

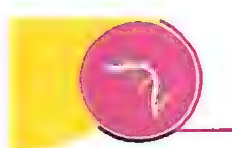
٣- حمض RNA الناقل t-RNA .

فيما يلي تفصيل ذلك:

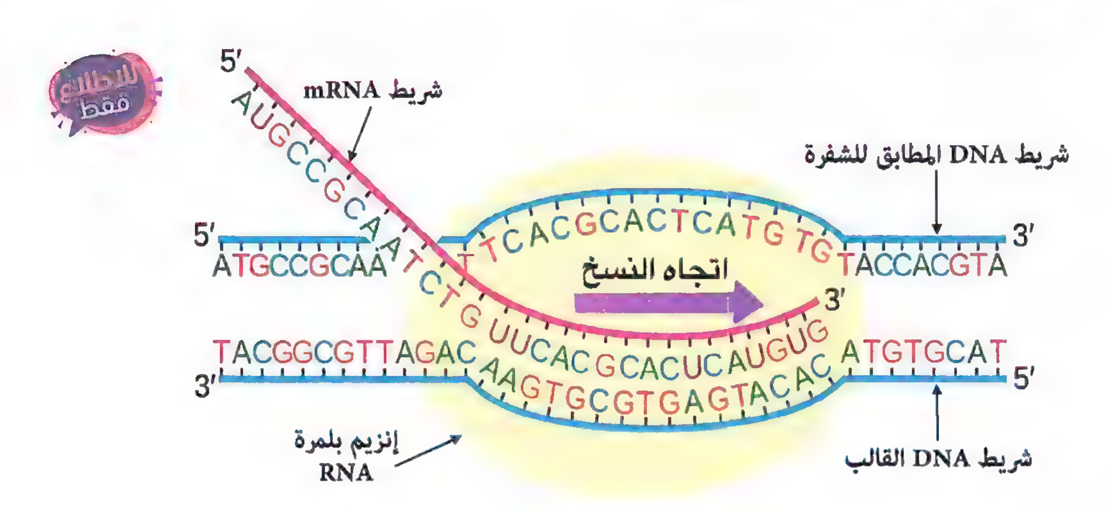
١ حمض RNA الرسول mRNA

✪ مكان الوجود : يتم نسخ mRNA من الـDNA في النواة ثم ينتقل إلى السيتوبلازم عند حاجة الخلية لتصنيع البروتين.

✪ الوظيفة البيولوجية : نقل الشفرة الوراثية من DNA في النواة إلى الريبوسومات في السيتوبلازم حيث تتم ترجمته إلى أحماض أمينية تدخل في تكوين البروتين.

خطوات عملية نسخ حمض RNA الرسول



الخطوات	الأحداث البيولوجية
البدء	١ ينفك التفاف اللولب المزدوج عند موضع الجين المراد نسخه. ٢ يتعرف إنزيم بلمرة RNA على تتابع معين من النيوكليوتيدات يوجد على أحد شريطي DNA يعرف بـ«المحفز»، والذي يوجه إنزيم بلمرة RNA إلى الشريط الذي سينسخ منه mRNA ٣ ينفصل شريطا DNA عن بعضهما البعض حيث يعمل أحدهما كقالب لبناء mRNA ويكون القالب في اتجاه (′3 ⟵ ′5) فيقوم الإنزيم ببناء mRNA في اتجاه (′5 ⟵ ′3).
الاستطالة	• يتحرك الإنزيم على امتداد جزيء DNA حيث يتم ربط الريبونيوكليوتيدات المتكاملة إلى شريط mRNA النامي واحدةً بعد الأخرى حتى تنتهي القطعة الجينية المراد نسخها.
الإنهاء	• تنتهي عملية النسخ بوصول إنزيم بلمرة RNA لأحد التتابعات التالية على DNA (ACT – ATC – ATT)، حيث ينفصل عن شريط DNA ويعاد التفاف DNA مرة أخرى ويتحرر mRNA الناتج لينتقل إلى السيتوبلازم.

تركيب جزيء mRNA



رسم تخطيطي لجزيء mRNA

- يتضح من الرسم أن جزيء mRNA الناضج يتكون من ٤ وحدات أساسية كالتالي:

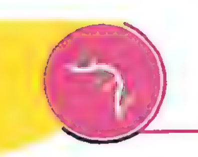
الوحدة البنائية	مكان الوجود	الشفرة والترجمة	الأهمية البيولوجية
موقع الارتباط بالريبوسوم	بداية جزيء mRNA عند الطرف ′5.	لا يمثل شفرة وبالتالي لا يترجم إلى أحماض أمينية.	تتابع من النيوكليوتيدات يرتبط بتحت الوحدة الصغرى من الريبوسوم حيث يصبح أول كودون (كودون البدء) AUG متجهًا لأعلى وهو الوضع الصحيح للترجمة.
كودون البدء AUG	بداية جزيء mRNA بعد موقع الارتباط.	يمثل شفرة حمض الميثيونين.	يعطي إشارة لبداية تكوين عديد الببتيد.
كودون الوقف ويكون واحدا من ثلاثة (UGA، UAG، UAA)	نهاية جزيء mRNA.	يمثل شفرة ولكنه لا يترجم إلى حمض أميني محدد حيث تنتهي عنده عملية الترجمة.	تعطي إشارة عند النقطة التي يجب أن تقف عندها آلية بناء البروتين حيث يرتبط بأي منهم بروتين عامل الإطلاق لينتهي بناء سلسلة عديد الببتيد.
ذيل عديد الأدنين (يتكون من حوالي 200 أدينوزين)	نهاية جزيء mRNA بعد الطرف ′3 حيث يلي كودون الوقف.	لا يمثل شفرة وبالتالي لا يترجم إلى أحماض أمينية كما أنه يلي كودون الوقف الذي تنتهي عنده عملية الترجمة.	حماية mRNA من التحلل بواسطة الإنزيمات الموجودة في السيتوبلازم.

للاطلاع فقط

- الشريط القالب: شريط DNA الذي تستخدمه إنزيمات البلمرة لتكوين نيوكليوتيدات متكاملة ويكون في الاتجاه ′3 ← ′5 ويمثل الشريط المكمل للشفرة على mRNA.
- الشريط المطابق للشفرة: شريط DNA الذي يكون له نفس تتابع النيوكليوتيدات على mRNA ماعدا اليوراسيل تكون ثايمين ويكون في الاتجاه ′5 ← ′3.

ملحوظات

- التتابع المكون لذيل عديد الأدنين لا يتم نسخه من DNA؛ لأن عملية النسخ تنتهي بوصول إنزيم البلمرة لكودون الوقف وإنما يتم إضافته لـ mRNA في النواة قبل خروجه للسيتوبلازم.
- تتم عملية النسخ لجزء فقط من DNA الذي يمثل الجين ولا تتم لشريط DNA كله.
- تتابع النيوكليوتيدات المكونة للمحفز لا تنسخ ولا تترجم، بينما تتابع النيوكليوتيدات التي تمثل كودونات الوقف تنسخ ولا تترجم.
- عدد أنواع إنزيمات البلمرة (DNA، RNA) في حقيقيات النواة يساوي **أربعة**، بينما عدد أنواع إنزيمات البلمرة في أوليات النواة يساوي نوعين فقط.
- أول شفرة توجد على شريط DNA بعد المحفز هي "TAC" والتي تنسخ إلى كودون البدء "AUG".
- كل جين على DNA يسبقه محفز خاص به وبالتالي يكون عدد الجينات مساويًا لعدد المحفزات.





- مما سبق يمكن استنتاج أوجه الشبه والاختلاف بين عملية نسخ حمض mRNA وعملية تضاعف DNA كالتالي :

عملية التضاعف	وجه المقارنة	عملية النسخ
• تبدأ كل منهما بانفصال شريطي اللولب المزدوج عن بعضهما. • كلاهما تتم بمساعدة إنزيمات البلمرة التي تعمل في اتجاه واحد فقط (′٣←′٥). • يتم فيهما إضافة نيوكليوتيدات جديدة الواحدة تلو الأخرى على الشريط النامي.	وجه الشبه	
• لا تقف عملية تضاعف DNA إلا بعد نسخ كل DNA الموجود في الخلية.	كمية DNA	• نسخ RNA الرسول يتم من خلال نسخ جزء فقط من DNA الذي يحمل الجين.
• يستخدم في هذه العملية إنزيم بلمرة DNA وإنزيم اللولب وإنزيمات الربط.	الإنزيمات المستخدمة	• يستخدم في هذه العملية إنزيم بلمرة RNA ولا تحتاج إنزيمات الربط.
• يعمل كل من شريطي DNA كقالب لبناء شريط آخر يتكامل معه.	الشريط المستخدم	أحد أشرطة DNA فقط والذي يكون في الاتجاه (′٣←′٥) يعمل كقالب لبناء mRNA.
• نيوكليوتيدة DNA تحتوي على سكر الدي أوكسي ريبوز(خماسي الكربون منزوع الأوكسجين).	[illegible]	ريبونيوكليوتيدة تحتوي على سكرالريبوز خماسي الكربون .
• تتم هذه العملية قبل أن تبدأ الخلية في الانقسام.	توقيت الحدوث	• تتم هذه العملية باستمرار ولا ترتبط بانقسام الخلية.
• المحصلة النهائية لهذه العملية تعطي جزيئين DNA كاملين .	الناتج النهائي	• المحصلة النهائية لهذه العملية شريط مفرد من mRNA يحمل شفرات الأحماض الأمينية.

- تختلف عملية نسخ حمض RNA وترجمته إلى البروتين المقابل في أوليات النواة عنه في حقيقيات النواة كما يلي:

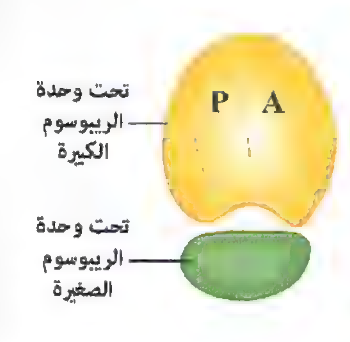
عملية النسخ في أوليات النواة	مكان الحدوث	عملية النسخ في حقيقيات النواة
تتم في السيتوبلازم.	مكان الحدوث	تتم في النواة.
• يوجد نوع واحد فقط من إنزيمات بلمرة RNA ينسخ أنواع RNA الثلاثة.	الإنزيمات المستخدمة	• يوجد ٣ أنواع من إنزيمات بلمرة RNA يتخصص كل منها في نسخ أحد أنواع RNA.
• تحدث عملية الترجمة بشكل سريع نسبيا حيث يتم ترجمة mRNA إلى البروتين المقابل بمجرد بنائه من DNA حيث ترتبط الريبوسومات ببداية mRNA وتبدأ في ترجمته إلى بروتين، بينما يكون الطرف الآخر لجزيء mRNA ما زال في مرحلة البناء على DNA القالب.	توقيت حدوث الترجمة	تحدث عملية الترجمة بشكل بطيء نسبيا حيث لا يتم ترجمة mRNA إلى البروتين المقابل إلا بعد الانتهاء من بناء mRNA كاملاً في النواة وانتقاله إلى السيتوبلازم من خلال ثقوب الغشاء النووي.



٢ دمض RNA الريبوسومي rRNA

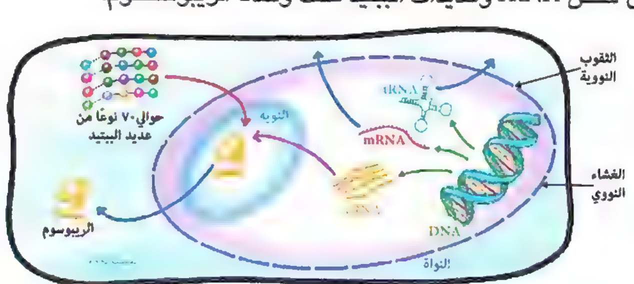
الوظيفة البيولوجية: يدخل أربعة أنواع مختلفة من rRNA مع حوالي ٧٠ نوعًا من عديدات الببتيد في بناء الريبوسومات والتي تعتبر عضيات تخليق البروتين داخل الخلية.

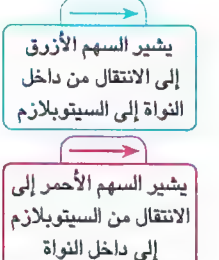
الريبوسومات

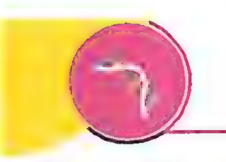
مكان التكوين	تتكون في النوية (منطقة داخل النواة) في خلايا حقيقيات النواة.
مكان العمل	يعمل في السيتوبلازم.
معدل التكوين	معدل سريع، حيث يتم بناء آلاف من الريبوسومات في الساعة في خلايا حقيقيات النواة وذلك لأن DNA في حقيقيات النواة يحتوي على أكثر من ٦٠٠ نسخة من جينات RNA الريبوسومي الذي يشترك في بناء الريبوسومات التي تحتاج إليها الخلايا بكثرة.
التركيب الكيميائي	• أربعة أنواع من rRNA. • حوالي ٧٠ نوعًا من عديد الببتيد.
التركيب الوظيفي	يتركب الريبوسوم من تحت وحدتين Subunits: ١ تحت وحدة الريبوسوم الكبيرة : تحتوى على موقعين: • الأول: موقع الببتيديل (P). • الثاني: موقع الأمينو أسيل (A). ٢ تحت وحدة الريبوسوم الصغيرة : ترتبط بجزيء mRNA من جهة الطرف ٥ في بداية تخليق البروتين. 

ملحوظات

• يتم بناء البروتينات التي تدخل في تركيب الريبوسومات في السيتوبلازم ثم تنتقل عبر ثقوب الغشاء النووي إلى داخل النواة حيث يكون كل من rRNA وعديدات الببتيد تحت وحدتا الريبوسوم.



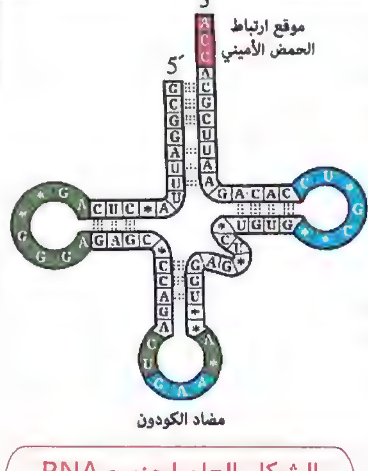





- أثناء عملية بناء البروتين يحدث تداخل بين mRNA الذي يوجد عليه الشفرة ، rRNA المكون للريبوسوم .
- عندمـــا لا يكون الريبوســـوم قائمًـــا بعمله في إنتـــاج البروتين فإن تحـــت الوحدتين تنفصـــلان عن بعضهمـــا البعض وتتحرك كل منهمـــا بحرية، وقـــد ترتبط كل تحت وحـــدة منهما بتحت وحـــدة أخرى من النوع المقابـــل عندما تبدأ عملية بنـــاء البروتين مرة أخرى.
- تحتـــوي وحدة الريبوســـوم الكبيرة على إنزيمـــات خاصة تلعـــب دورًا في تفاعل نقل الببتيديل الذي ينشـــأ عنـــه تكوين روابط ببتيدية بين الأحمـــاض الأمينية وبعضها في سلســـلة عديـــد الببتيد النامية.
- عـــدد الريبوســـومات الموجودة فـــي الخلية يعتبر مؤشـــرًا على نشـــاط الخلية فمثلا نشـــاط خلايا الغضاريف أقل من نشـــاط خلايا الأمعـــاء لأنها تحتوي على عـــدد أقل من الريبوســـومات.
- لا تســـتطيع الريبوســـومات وحدها أن تســـد حاجة الجســـم من الهرمونات؛ لأن الريبوســـومات مســـئولة عـــن تخليق الأنواع المختلفـــة من البروتينات داخـــل الخلايا وليســـت كل الهرمونات الموجودة في الجســـم بروتينية حيث توجـــد بعض الهرمونات التـــي تتكون من مواد دهنية والمعروفة بالإســـتيرويدات مثل هرمونات قشـــرة الغدة الكظرية (الســـكرية - المعدنية - الجنســـية) بالإضافة إلى هرمونات المناســـل فلا تســـتطيع الريبوســـومات تخليق مثل هـــذه الهرمونات.

٣ حمـــض RNA النـاقـــل tRNA

الحجم	أصغر الأحماض النووية الريبوزية حجمًا.
الأنواع	نظريا: يوجد أكثر من ٢٠ نوعًا من tRNA بحد أقصى ٦١ نوعًا .
عملية النسخ	ينسخ tRNA من جينات tRNA الموجودة على شكل تجمعات من (٧ - ٨) جينات على نفس الجزء من جزيء DNA بواسطة إنزيم بلمرة RNA.
الأهمية البيولوجية	نقل الأحماض الأمينية من السيتوبلازم إلى الريبوسومات أثناء تكوين البروتيـن حيث يكون لكل حمض أميني نوع خاص منtRNA يتعرف عليه ثم يقـوم بنقله إلا أن الأحماض الأمينية التي لها أكثر من شفرة يكون لها أكثر من نوع من tRNA.
الشكل العام للجزيء	لكل جزيئات tRNA نفس الشكل العام حيث تلتف أجزاء من الجزيء لتكون حلقات تحتفظ بشكلها بازدواج القواعد في مناطق مختلفة من الجزيء عن طريق تكوين روابط هيدروجينية وذلك لحمايته من التحلل بواسطة إنزيمات السيتوبلازم.
المواقع الفعالة على الجزيء	١ موقع الارتباط بالحمض الأميني: يوجد عند الطرف ٣ من الجزيء ويتكون من تتابع ثلاثي ثابت CCA يرتبط به الحمض الأميني الملائم أثناء نقله للريبوسوم. ٢ موقع مضاد الكودون: يمثل تتابع معين يختلف من نوع لآخر يحدد تخصص tRNA تجاه الأحماض الأمينية المختلفة حيث تتزاوج قواعده مع كودونات mRNA المناسبة عند مركب mRNA والريبوسوم فيحدث ارتباط مؤقت بين tRNA وmRNA مما يسمح للحمض الأميني المحمول على tRNA أن يدخل في المكان المحدد له في سلسلة عديد الببتيد النامية.



الشكل العام لجزيء RNA الناقل

ملحوظات

- يمكن نظريًا نقل tRNA من كائن حي لآخر دون حدوث خلل وظيفي وذلك لأن جميع جزيئات tRNA لها نفس الشكل العام كما أن كل نوع من tRNA يتخصص في نقل نفس الحمض الأميني في جميع الكائنات الحية.

للاطلاع فقط

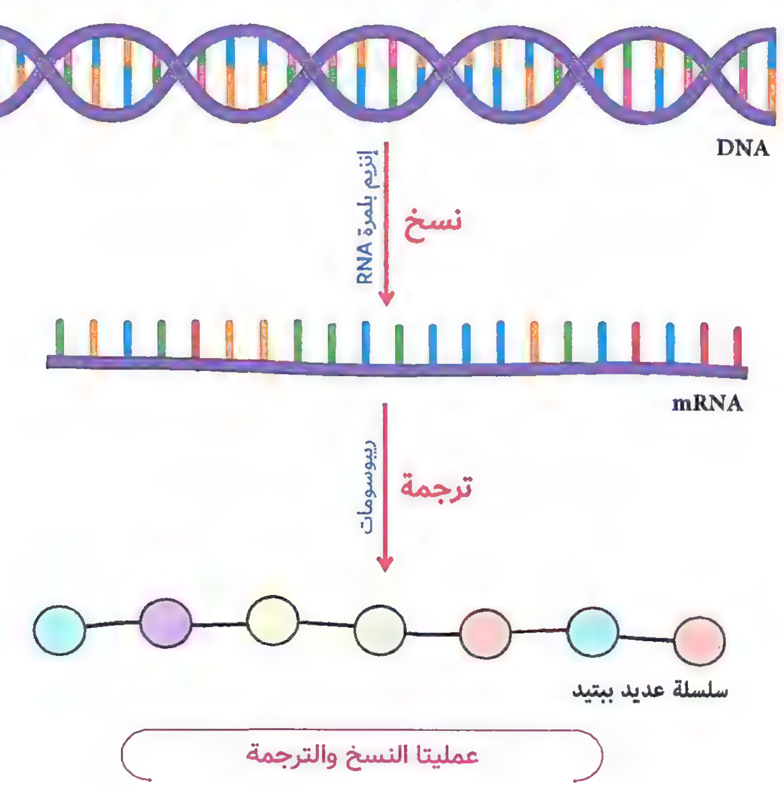
- تشير علامة النجمة الموجودة في القواعد النيتروجينية على الرسم إلى وجود قواعد جديدة مشتقة ثانوية تختلف في التركيب الكيميائي عن القواعد النيتروجينية المعروفة.
- شرائط RNA الناتجة من عملية النسخ مباشرة تكون غير ناضجة ويجري عليها بعد التعديلات في النواة قبل خروجها للسيتوبلازم في صورة وظيفية ناضجة مثل إضافة ذيل عديد الأدنين إلى mRNA لحمايته من التحلل بواسطة إنزيمات السيتوبلازم.
- القواعد النيتروجينية التي تدخل في بناء الأحماض النووية سواء أثناء التضاعف أو النسخ يتم تكوينها داخل الجسم من مصادر أولية أو ناتج إعادة تدوير القواعد النيتروجينية القديمة المهضومة.

الشفرة الوراثية The Genetic Code

يحمل DNA مليارات النيوكليوتيدات التي تترتب في تتابع معين يسمى «جين» يتحكم في إظهار صفة وراثية معينة من خلال تكوين بروتين مخصص لكل جين.

هل تساءلت يومًا ما الذي يجعل لون عينيك بنيا بينما يمتلك أخوك لونا أخضر للعيون مثلا ؟ لماذا تكره السمك دون باقي المأكولات ؟ قد يرجع ذلك إلى حدوث تغير في الجين المسئول عن تكوين مستقبلات الشم أو التذوق لديك يجعلك أكثر حساسية لمذاق السمك.

والسؤال الآن: كيف يتم فك شفرة هذه التتابعات على DNA ليتم ترجمتها إلى بروتينات ؟
تنسخ تتابعات DNA على شريط mRNA الذي يحمل كودونات تمثل شفرات للأحماض الأمينية التي ستضاف في سلسلة عديد الببتيد النامية وتتم عملية الترجمة بواسطة الريبوسومات في السيتوبلازم.



عمليتا النسخ والترجمة

الشفرة الوراثية

تتابع النيوكليوتيدات في ثلاثيات على mRNA والتي تم نسخها من أحد شريطي DNA.

خصائص الشفرة الوراثية

١ توجد على mRNA في صورة تتابعات ثلاثية من النيوكليوتيدات تسمى «كودونات» تتكامل مع تتابعات الجين على DNA مع استبدال قاعدة الثايمين بقاعدة اليوراسيل.

٢ كل كودون مخصص لحمض أميني واحد فقط بينما قد يكون للحمض الأميني الواحد أكثر من كودون ماعدا الميثيونين والتريبتوفان (أحماض أمينية لها كودون واحد فقط).

٣ أقصى عدد ممكن لأنواع الكودونات على mRNA يساوي ٦٤ كودون منها ٦١ كودون يمثل شفرة لحمض أميني معين و٣ كودونات لا تمثل شفرة لحمض أميني معين (كودونات الوقف)

٤ الشفرة الوراثية عالمية أو عامة وذلك لأن نفس الكودونات تمثل شفرات لنفس الأحماض الأمينية في جميع أنواع الكائنات الحية (فيروسات - فطريات - بكتيريا - نباتات - حيوانات) وهذا دليل قوي على أن جميع الكائنات الحية الموجودة على سطح الأرض قد نشأت عن أسلاف مشتركة وبالتالي يمكن اعتبار ذلك دليلا يؤيد نظرية التطور في بعض فروضها حيث إن الشفرة قد تكونت بعد فترة قصيرة من بدء الحياة واستمرت بدون تغير تقريبًا لملايين السنين.

٥ الشفرة الوراثية لا تتداخل مع بعضها أثناء عملية الترجمة حيث تتواجد في صورة ثلاثيات متتابعة يتم ترجمة كل منها على حدة ولا تستخدم نفس القاعدة مرتين أثناء ترجمة الكودون.

الادلة على أن الشفرة الوراثية ثلاثية

	عدد الأحماض الأمينية	نتيجة الفرضية	الشكل التوضيحي
أحادية	كل نيوكليوتيدة تمثل شفرة حمض أميني واحد وبالتالي فإن عدد الأحماض الأمينية يساوي ٤.	احتمال مرفوض لأنه لا يتناسب مع عدد الأحماض الأمينية العشرين التي تدخل في تكوين البروتين.	A G C U
ثنائية	كل نيوكليوتيدتين تمثل شفرة حمض أميني واحد وبالتالي فإن عدد الأحماض الأمينية يساوي ٢٤ = ١٦.	احتمال مرفوض لأنه لا يتناسب مع عدد الأحماض الأمينية العشرين التي تدخل في تكوين البروتين.	AA AG AC AU GA GG GC GU CA CG CC CU UA UG UG UU

ثلاثية	كل ٣ نيوكليوتيدات تمثل شفرة حمض أميني واحد وبالتالي فإن عدد الأحماض الأمينية يساوي ٣٤ = ٦٤.	احتمال مقبول لأنه أكبر من عدد الأحماض الأمينية المطلوبة.	

TAA	CAA	GAA	AAA
TAG	CAG	GAG	AAG
TAC	CAC	GAC	AAC
TAT	CAT	GAT	AAT
TGA	CGA	GGA	AGA
TGG	CGG	GGG	AGG
TGC	CGC	GGC	AGC
TGT	CGT	GGT	AGT
TCA	CCA	GCA	ACA
TCG	CCG	GCG	ACG
TCC	CCC	GCC	ACC
TCT	CCT	GCT	ACT
TTA	CTA	GTA	ATA
TTG	CTG	GTG	ATG
TTC	CTC	GTC	ATC
TTT	CTT	GTT	ATT

القاعدة الأولى	القاعدة الثانية				القاعدة الثالثة
	U	C	A	G	
U	UUU Phenylalanine	UCU Serine	UAU Tyrosine	UGU Cystein	U
	UUC Phenylalanine	UCC Serine	UAC Tyrosine	UGC Cysteine	C
	UUA Leucine	UCA Serine	UAA STOP	UGA STOP	A
	UUG Leucine	UCG Serine	UAG STOP	UGG Tryptophan	G
C	CUU Leucine	CCU Proline	CAU Histidine	CGU Arginine	U
	CUC Leucine	CCC Proline	CAC Histidine	CGC Arginine	C
	CUA Leucine	CCA Proline	CAA Glutamine	CGA Arginine	A
	CUG Leucine	CCG Proline	CAG Glutamine	CGG Arginine	G
A	AUU Isoleucine	ACU Threonine	AAU Asparagine	AGU Serine	U
	AUC Isoleucin	ACC Threonine	AAC Asparagine	AGC Serine	C
	AUA Isoleucine	ACA Threonine	AAA Lysine	AGA Arginine	A
	AUG (START) Methionine	ACG Threonine	AAG Lysine	AGG Arginine	G
G	GUU Valine	GCU Alanine	GAU Asparagine	GGU Glycine	U
	GUC Valine	GCC Alanine	GAC Asparagine	GGC Glycine	C
	GUA Valine	GCA Alanine	GAA Glutamic acid	GGA Glycine	A
	GUG Valine	GCG Alanine	GAG Glutamic acid	GGG Glycine	G

للطالب فقط

3´ 5´ 3´ 3´ 3´

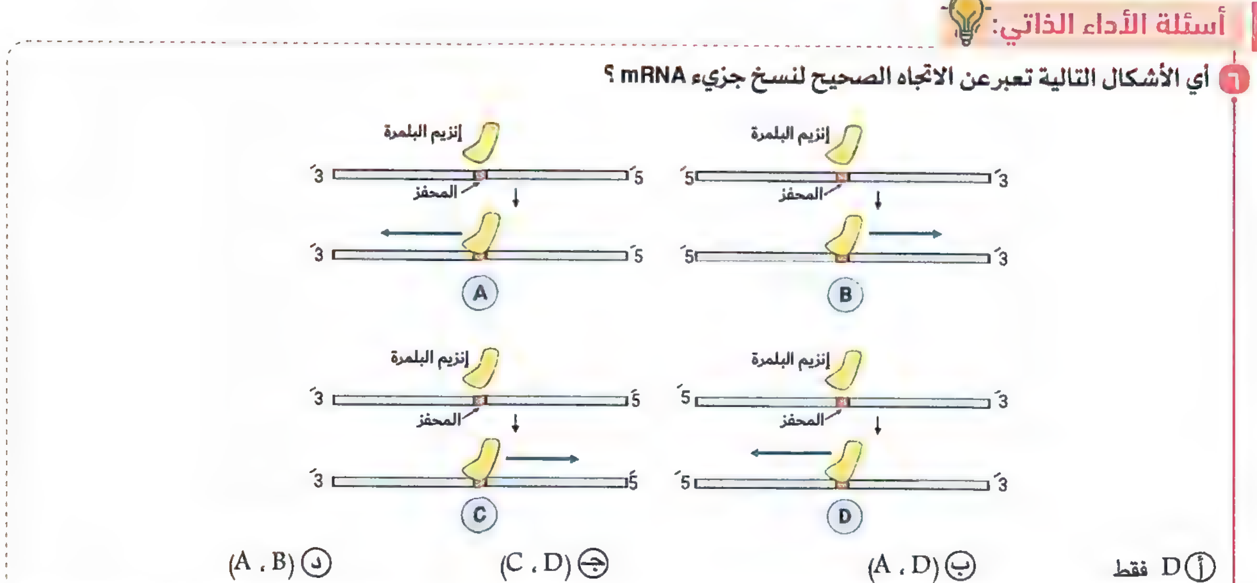
Phe (F) Leu (L) Ser (S) Tyr (Y) Cys (C) Trp (W) Leu (L) Pro (P) His (H) Gln (Q) Arg (R) Ile (I) Met (M) Thr (T) Asn (N) Lys (K) Ser (S) Arg (R) Val (V) Ala (A) Asp (D) Glu (E) Gly (G)

▶ Start
■ Stop

جدول الشفرات

أسئلة الأداء الذاتي:

٦ أي الأشكال التالية تعبر عن الاتجاه الصحيح لنسخ جزيء mRNA ؟



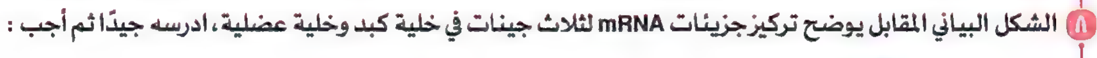
Ⓐ D فقط
Ⓑ (A ، D)
Ⓒ (C ، D)
Ⓓ (A ، B)



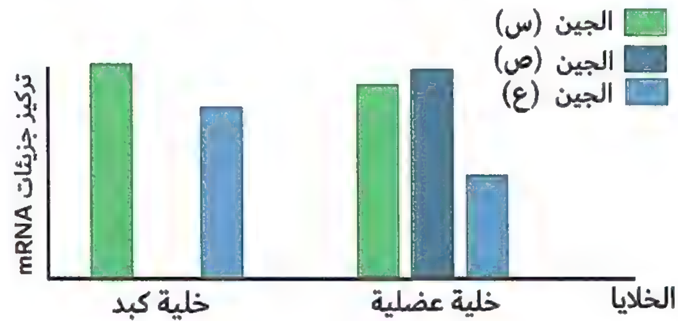
7 الشكل المقابل يوضح بعض العمليات التي يمكن أن تحدث في ....



Ⓐ سيتوبلازم فطر الخميرة
Ⓑ نواة وسيتوبلازم الأميبا
Ⓒ سيتوبلازم إيشريشيا كولاي
Ⓓ نواة وسيتوبلازم كل من فطر الخميرة والأميبا



8 الشكل البياني المقابل يوضح تركيز جزيئات mRNA لثلاث جينات في خلية كبد وخلية عضلية، ادرسه جيدًا ثم أجب :



أي البدائل التالية قد تفسر اختلاف تركيز جزيئات mRNA للجين (ص) في الخليتين ؟

Ⓐ خلايا الكبد لا تستطيع تكوين جزيئات mRNA لهذا الجين لعدم وجوده في DNA الخاص بها
Ⓑ الخلايا العضلية متعددة الأنوية بينما خلايا الكبد غالبا أحادية النواة
Ⓒ صعوبة وصول إنزيمات البلمرة لموقع المحفز الذي يسبق هذا الجين في خلايا الكبد
Ⓓ معدل إنتاج جزيئات ATP في خلايا الكبد أقل من الخلايا العضلية

---

9 ادرس شريط mRNA الذي أمامك، ثم حدد :

5`........ AAAA AUG AAAAAAAAA UAA AAAAAA ........ 3`

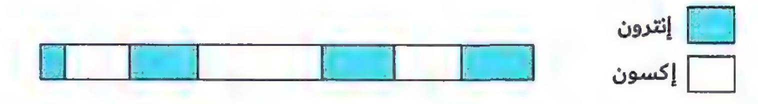
(س) (ص) (ع) (ل) (م)

أي الأجزاء ترتبط مع مضاد الكودون في tRNA أثناء عملية الترجمة ؟

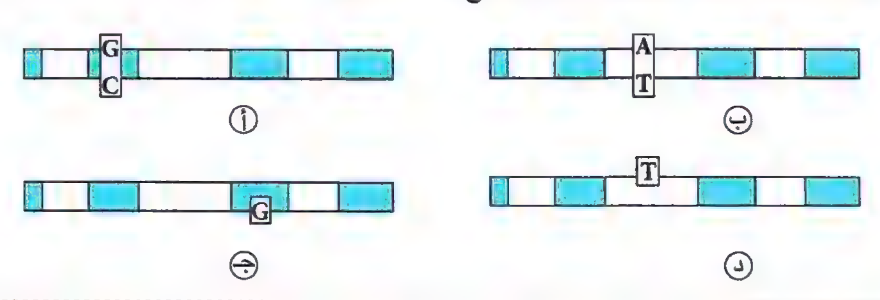
Ⓐ ص ، ع　　Ⓑ ع ، ل　　Ⓒ ل ، م　　Ⓓ س ، ص

---

10 ادرس الرسم التالي الذي يوضح قطاعًا في أحد الجينات (DNA)، ويوضح أماكن تحمل شفرة تسمى (إكسون) وأماكن لا تحمل شفرة تسمى (إنترون) :



ما الرسم الذي يعبر عن حدوث عيب DNA يغير البروتين الناتج عن هذا الجين ؟



تخليق البروتين Protein synthesis

مكان الحدوث	تحدث في السيتوبلازم داخل الخلايا الحية.
التراكيب المستخدمة	• الريبوسومات. • حمض RNA الرسول mRNA. • حمض RNA الناقل tRNA. • أحماض أمينية. • بعض الإنزيمات.
المراحل	١ بدء عملية الترجمة. ٢ استطالة سلسلة عديد الببتيد. ٣ توقف عملية بناء البروتين.

خطوات تخليق البروتين

آلية تخليق البروتين

تتم عملية الترجمة على ٣ خطوات أساسية كالتالي:

أولاً: بدء عملية الترجمة

١ ترتبط تحت وحدة الريبوسوم الصغيرة بجزيء mRNA من جهة الطرف (٥) بحيث يكون أول كودون به AUG متجهًا إلى أعلى (وهو الوضع الصحيح للترجمة)

٢ تتزاوج قواعد مضاد الكودون لجزيء tRNA الخاص بالميثيونين مع كودون AUG وبذلك يصبح الميثيونين أول حمض أميني في سلسلة عديد الببتيد التي ستبنى.

٣ ترتبط تحت وحدة الريبوسوم الكبيرة بالمركب السابق (تحت وحدة الريبوسوم الصغيرة وmRNA و tRNA) وعندئذ تبدأ تفاعلات بناء البروتين.

ثانيًا استطالة سلسلة عديد الببتيد

تبدأ سلسلة عديد الببتيد في الاستطالة في دورة تتكون من ثلاث خطوات:

أ يرتبط مضاد كودون tRNA آخر بالكودون التالي على جزيء mRNA في موقع الأمينو أسيل (A) حاملًا الحمض الأميني الثاني في سلسلة عديد الببتيد.

ب • يحدث **تفاعل نقل الببتيديل** الذى ينتج عنه تكوين رابطة ببتيدية بين الحمض الأميني الأول والثاني بمساعدة إنزيم منشط للتفاعل عبارة عن جزء من تحت وحدة الريبوسوم الكبيرة.
• يصبح tRNA الأول فارغًا ويترك الريبوسوم وقد يلتقط ميثيونيًا آخر، أما tRNA الآخر يحمل الحمضين الأمينيين معًا.

ج • يتحرك الريبوسوم على امتداد mRNA بحيث يصبح موقع الأمينو أسيل (A) خاليًا ويصبح الحمض الأميني الثاني أمام موقع الببتيديل (P) على الريبوسوم.
• تبدأ الدورة مرة أخرى حيث يرتبط مضاد كودون tRNA مناسب بكودون mRNA جالبًا الحمض الأميني الثالث إلى الموضع المناسب على الموقع (A).
• ترتبط سلسلة عديد الببتيد النامية بالحمض الأميني الجديد القادم على جزيء tRNA الثالث ثم يتكرر التتابع.

تفاعل نقل الببتيديل

تفاعل كيميائي يحدث في الريبوسومات وينتج عنه تكوين رابطة ببتيدية بين حمض أميني والحمض الذى يليه بمساعدة إنزيم منشط للتفاعل عبارة عن جزء من تحت وحدة الريبوسوم الكبيرة.

ثالثًا توقف عملية بناء البروتين

تقف عملية بناء البروتين عندما يصل الريبوسوم إلى كودون وقف على mRNA حيث يرتبط بروتين عامل الإطلاق بكودون الوقف مما يجعل الريبوسوم يترك mRNA وتنفصل تحت وحدتي الريبوسوم عن بعضهما البعض، وتتحرر سلسلة عديد الببتيد النامية.

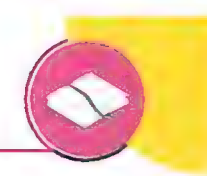
بمجرد أن يبرز الطرف (٥) لجزيء mRNA من الريبوسوم يرتبط به تحت وحدة ريبوسوم صغيرة جديدة لتبدأ دورة أخرى في بناء البروتين وهكذا.

عامل الإطلاق

بروتين يرتبط بكودون الوقف على جزئ mRNA مما يجعل الريبوسوم يترك mRNA وتنفصل تحت وحدتي الريبوسوم عن بعضهما البعض وتتحرر سلسلة عديد الببتيد المتكونة.

ملحوظات

• عادة ما يتصل بجزيء mRNA الواحد عدد من الريبوسومات قد يصل إلى مائة ريبوسوم حيث يترجم كل منها الرسالة بمروره على mRNA ويسمى في هذه الحالة «عديد الريبوسوم».





لاحظ أن : كلما كان الريبوسوم قريبًا من الطرف ٣ كلما كانت السلسلة البروتينية قد اقتربت من النهاية فتكون أطول من تلك المحمولة على الريبوسوم القريب من الطرف ٥.

عديد الريبوسوم Polysome

اتصال جزيء mRNA واحد بعدد من الريبوسومات قد يصل إلى المائة ريبوسوم يترجم كل منها الرسالة بمروره على mRNA.

استنتاجات

- الجزيء الذي يحمل لغتي الأحماض الأمينية والنيوكليوتيدات هو mRNA ، بينما الجزيء الذي يقرأ لغتي الأحماض الأمينية والنيوكليوتيدات هو tRNA .
- تلعب الجينات الموجودة على DNA دورًا مباشرًا وغير مباشرٍ في تخليق البروتين، حيث إن:
  - بعض جينات DNA تنسخ إلى mRNA يحمل شفرات يتم ترجمتها إلى تتابع من الأحماض الأمينية والتي تكون البروتين (دور مباشر).
  - بعض جينات DNA تنسخ إلى rRNA يدخل أربعة أنواع منه في بناء الريبوسومات والتي تعتبر عضيات تخليق البروتين داخل الخلية)دور غير مباشر).
  - بعض جينات DNA تنسخ إلى tRNA المسئول عن نقل الأحماض الأمينية من السيتوبلازم إلى الريبوسومات لتخليق البروتين (دور غير مباشر).

ملحوظات

- تفاعل نقل الببتيديل يحدث عند موقع الببتيديل وليس موقع الأمينو أسيل في تحت وحدة الريبوسوم الكبيرة وذلك لأنها تحتوي على الإنزيم المنشط للتفاعل.
- يرتبط بروتين عامل الإطلاق بكودون الوقف عند موقع الأمينو أسيل وليس موقع الببتيديل وذلك لأنه يكون فارغا عند وصول الريبوسوم لكودون الوقف.
- اتجاه tRNA يكون في عكس اتجاه mRNA أثناء عملية الترجمة وذلك حتى تتكون الروابط الهيدروجينية بشكل سليم أثناء تعرف مضاد الكودون في tRNA على الكودون في mRNA.
- كل حركة للريبوسوم على mRNA تعادل مقدار كودون واحد فقط.
- يلاحظ من الصورة وجود مقص في نهاية عملية الترجمة وهو رمز لأحد الإنزيمات المسئولة عن فصل الحمض الأميني المثيونين بعد عملية الترجمة فليس من الضروري وجود المثيونين في كل سلاسل عديدات الببتيد المتكونة وإنما يمثل الكودون الخاص به إشارة لبدء عملية الترجمة فحسب.
- يتحرك الريبوسوم على شريط mRNA في اتجاه واحد فقط وهو ٥´ ⟵ ٣´.
- يكثر وجود مركبات عديد الريبوسوم في الخلايا النشطة التي تكون البروتينات بشكل مستمر مثل البنكرياس وخلايا الجهاز الهضمي بينما يقل وجودها نسبيا في الخلايا الأقل نشاطا مثل خلايا العظام والغضاريف.

- قد تحدث طفرة جينية نتيجة تغير في التركيب الكيميائي ولا ينشأ عنها بروتين مختلف؛
  - لأنه عند استبدال النيوكليوتيدة بأخرى على DNA قد تكون شفرة وراثية جديدة لنفس الحمض الأميني وذلك لأن بعض الأحماض الأمينية يكون لها أكثر من شفرة وعند نسخها تترجم إلى نفس الحمض الأميني فيظل تركيب البروتين كما هو.

أو

  - قد يحدث ذلك نتيجة استبدال النيوكليوتيدة بأخرى لإحدى التتابعات التي ينشأ عن نسخها كودون وقف بحيث يعطي شفرة أخرى تصلح أن تكون كودون وقف لأن ثلاثية شفرته على DNA قد تكون (ACT-ATT-ATC) وبالتالي لا يؤثر على البروتين الناتج.

تطبيقات

- في شريط mRNA توجد القاعدة النيتروجينية اليوراسيل (U) بدلاً من القاعدة النيتروجينية الثايمين (T) الموجودة في DNA.
- الكودون يتكون من ٣ نيوكليوتيدات على شريط mRNA وبالتالي يكون:

$$\text{عدد الكودونات} = \frac{\text{مجموع نيوكليوتيدات mRNA}}{٣}$$

$$= \frac{\text{مجموع نيوكليوتيدات شريط DNA المفرد}}{٣}$$

$$= \frac{\text{مجموع نيوكليوتيدات جزيء DNA المزدوج}}{٦}$$

- أقصى عدد من أنواع الكودونات أو الشفرات على mRNA = ٣٤ =٦٤.
- أقصى عدد من أنواع الكودونات أو شفرات الأحماض الأمينية على mRNA = ٦٤ - ٣ (كودونات وقف) = ٦١.
- أقصى عدد محتمل من أنواع مضادات الكودونات على tRNA = ٦١.
- عدد الأحماض الأمينية الناتجة من ترجمة mRNA = عدد الكودونات على mRNA - ١ (كودون وقف).
- عدد الروابط الببتيدية في سلسلة عديد الببتيد = عدد الأحماض الأمينية - ١.

ثلاثية الشفرة على DNA	الكودون على mRNA	مضادات الكودون على tRNA
TAC	AUG (كودون بدء)	UAC
ACT	UGA (كودون وقف)	لا يوجد مضاد كودون لكودون الوقف.
ATC	UAG (كودون وقف)	لا يوجد مضاد كودون لكودون الوقف.
ATT	UAA (كودون وقف)	لا يوجد مضاد كودون لكودون الوقف.

أمثلة

1. لديك جين يحمل التتابعات التالية على أحد أشرطته: (الثانوية الأزهرية - دور أول - ٢٠١٧)

5´.. T-A-C-T-C-C-T-T-T-T-A-C-T-C-C-A-T-T ..3´

١. اكتب تتابع القواعد النيتروجينية على جزيء mRNA المنسوخ من الشريط السابق.
٢. كم عدد الأحماض الأمينية الناتجة من ترجمة جزيء mRNA.
٣. كم عدد أنواع الأحماض الأمينية الناتجة من ترجمة جزيء mRNA ؟
٤. كم عدد أنواع tRNA المستخدمة في ترجمة mRNA ؟ ولماذا ؟
٥. اكتب مضادات الكودونات على tRNA.
٦. كم عدد الروابط الببتيدية في سلسلة عديد الببتيد الناتجة ؟
٧. كم عدد اللفات الكاملة للجين ؟ مع تفسير إجابتك.

الإجابة:

١. ´3 .... A-U-G-A-G-G-A-A-A-A-U-G-A-G-G-U-A-A .....´5

٢ـ ٥ أحماض أمينية. ٣ـ ٣ أنواع فقط.

٤ـ ٣ أنواع فقط؛ لأن لكل حمض أميني نوع خاص من tRNA يتعرف عليه ثم يقوم بنقله ويرجع ذلك إلى وجود تكرار في الشفرتين AUG، AGG مرتين من نفس التتابع ولكل منهما نفس الشفرة لنفس الحمض الأميني فيكون لكل منهما نوع واحد فقط من tRNA وليس نوعين.

٥ـ UAC – UCC – UUU – UAC – UCC

٦ـ عدد الروابط الببتيدية = عدد الأحماض الأمينية – ١ = ٥ – ١ = ٤ روابط.

٧ـ $\text{عدد اللفات الكلي} = \frac{\text{عدد النيوكليوتيدات على شريط DNA}}{١٠} = \frac{١٨}{١٠} = ١٫٨$ لفة.

عدد اللفات الكاملة = ١ لفة فقط.

٢ لديك قطعة من جزيء DNA تحمل التتابعات التالية على أحد أشرطتها:

´3..... TAC GGA ACT CGT TAC ATT ..... ´5

١ـ اكتب تتابع النيوكليوتيدات في قطعة mRNA المنسوخة من هذه القطعة.

٢ـ احسب عدد الأحماض الأمينية الناتجة من عملية الترجمة، مع التفسير.

الإجابة

١ – ´5 ..... AUG CCU UGA GCA AUG UAA ..... ´3

٢ – عدد الأحماض الأمينية الناتجة من عملية الترجمة= ٢ فقط؛ بسبب وجود كودون وقف في منتصف التتابع تنتهي عنده آلية تخليق البروتين بعد ترجمة شفرتين فقط وهو الكودون UGA حيث يرتبط به بروتين عامل الإطلاق مما يجعل الريبوسوم ينفصل عن mRNA وتتحرر سلسلة عديد الببتيد المتكونة وذلك قبل وصول الريبوسوم إلى كودون الوقف الموجود في نهاية التتابع فتنتهي عملية الترجمة.

٣ إذا علمت أن كودون حمض الجلايسين GGA وكودون حمض الأرجنين AGG وكودون حمض الجلوتاميك GAG، اكتب ترتيب القواعد النيتروجينية في اللولب المزدوج الذي يعطي الأحماض الثلاثة بنفس الترتيب، مضيفًا إليهم كودون بدء وكودون وقف.

الإجابة

نبني شريط mRNA أولًا كالتالي:

	كودون بدء		كودون وقف
	´5..... <u>AUG</u> GGA AGG GAG <u>UAG</u> ..... ´3		
– شريط DNA:	´3..... TAC CCT TCC CTC ATC ..... ´5		
– الشريط المكمل:	´5..... ATG GGA AGG GAG TAG ..... ´3		

٤ إذا علمت أنه ينتج عن ترجمة شريط mRNA سلسلة عديد ببتيد بها ٣٠٠ حمض أميني، احسب:

١ – عدد النيوكليوتيدات الموجودة على mRNA

٢ – عدد النيوكليوتيدات الموجودة على قطعة DNA المنسوخ منها هذا الشريط.

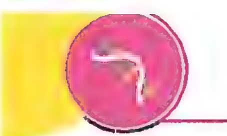
الإجابة

– عدد النيوكليوتيدات على mRNA = (عدد الأحماض الأمينية X ٣) + ٣ (كودون وقف)

= (٣٠٠ X ٣) + ٣ = ٩٠٣ نيوكليوتيدة.

٢ – عدد النيوكليوتيدات الموجودة على قطعة DNA = عدد النيوكليوتيدات على mRNA X ٢ = ٩٠٣ X ٢ = ١٨٠٦ نيوكليوتيدة.





أسئلة الأداء الذاتي:

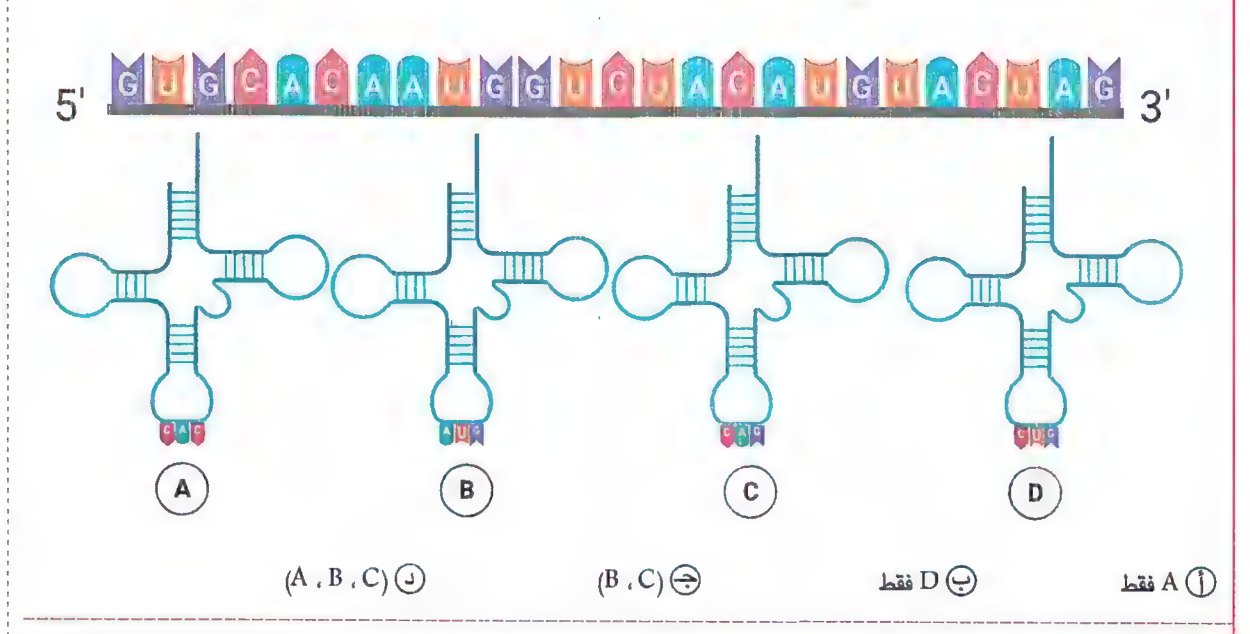
١١ بعد دراسة الجين الموضح بالشكل التالي :

5′- ATGGCTGGGTAGTTTTAA -3′
3′- TACCGACCCATCAAAATT -5′

كم عدد الأحماض الأمينية الناتجة من نسخ وترجمة الجين ؟

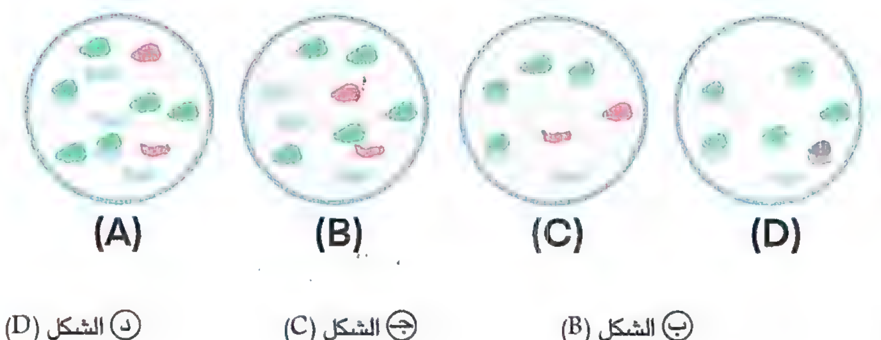
Ⓐ ٣ Ⓑ ٤ Ⓒ ٥ Ⓓ ٦

١٢ أي الجزيئات التالية تشارك في عملية ترجمة جزيء mRNA الموضح بالشكل المقابل ؟



Ⓐ A فقط Ⓑ D فقط Ⓒ (B ، C) Ⓓ (A ، B ، C)

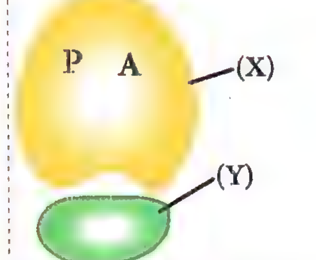
١٣ أي الأشكال التالية تمثل الخلية التي حدث لها طفرة في الجين المكون لبروتين عامل الإطلاق ؟



Ⓐ الشكل (A) Ⓑ الشكل (B) Ⓒ الشكل (C) Ⓓ الشكل (D)

١٤ أي العبارات التالية تنطبق على التركيب الموضح بالشكل المقابل ؟

Ⓐ الموقع (P) يستقبل جميع الأحماض الأمينية منذ بدء الترجمة
Ⓑ الموقع (A) يستقبل جميع الأحماض الأمينية منذ بدء الترجمة
Ⓒ الجزء (X) يتم بداخله تكوين جزيئات عضوية وأخرى غير عضوية
Ⓓ الجزء (Y) يدخل في تكوينه عدد أكبر من البروتينات و rRNA مقارنة بالجزء (X)



14 ما النتيجة التي تتوقع حدوثها نتيجة استبدال القاعدة (T) بالقاعدة (C) أثناء نسخ mRNA كما هو موضح بالشكل المقابل اعتمادًا على جدول الشفرات التالي ؟

3̀... TACTCTGTTAGAATC ...5̀

(أ) تتوقف عملية النسخ
(ب) تستمر عملية الترجمة ويتكون نفس البروتين
(ج) تتوقف عملية الترجمة
(د) تستمر عملية الترجمة ويتكون بروتين مختلف

15 يمكن أن يتسبب حدوث طفرة في محفزجين بروتين "بيتا جلوبين" في إحداث مرض ثلاسيميا بيتا، وهي حالة وراثية تسبب فقر الدم، لماذا تؤدي الطفرات في منطقة المحفز إلى انخفاض مستويات الهيموجلوبين ؟
(أ) سلاسل الجلوبين الناتجة طويلة جدًا وبالتالي لا تكوّن هيموجلوبين فعال
(ب) سلاسل الجلوبين أقصر من أن تشكل هيموجلوبين فعال
(ج) يتم تصنيع عدد أقل من سلاسل الجلوبين لأن كمية أقل من mRNA يتم نسخها
(د) سلاسل الجلوبين لا يتم تعديل شكلها الفراغي جيدًا وبالتالي لا تكون فعالة





خلايا حمراء طبيعية


الفصل 2

الـــدرس الثاني

التكنولوجيا الجزيئية (الهندسة الوراثية)

التكنولوجيا الجزيئية (الهندسة الوراثية) Genetic engineering

أحـــد مجالات العلـــم الحديث الذي يهتم باســـتخدام المـــادة الوراثية في العديـــد من التطبيقـــات الحياتية لحل العجـــز الجيني لخلايا الجســـم أو إنتاج جينـــات تعمل بكفاءة أعلى بهـــدف التغلب على المشـــكلات الاجتماعية والاقتصاديـــة والصحية والبيئية.

أهـم تطبيقـات التكنولوجيا الجزيئيـة

١ عـزل جيـن مرغـوب فيـه وتكويـن ملاييـن النسـخ منـه داخـل خليـة بكتيريـة أو خلايـا فطـر الخميـرة مثـل جيـن إنتـاج هرمـون الأنسـولين لعـلاج مـرض البـول السـكري.

٢ مقارنـة التركيـب الجينـي داخـل خلايـا نفـس الفـرد أو خلايـا أفـراد مختلفـة لتشـخيص الأمـراض الوراثيـة أو الأمـراض الناتجـة عـن حـدوث طفـرات فـي تركيـب الجيـن.

٣ التحليل البيوكيميائي للمحتوى الجيني لمعرفة نوع وترتيب النيوكليوتيدات المكونة لكل جين.

٤ التعـرف على ترتيـب الأحمـاض الأمينيـة المكونـة لبروتيـن معيـن مثـل الأنسـولين وبالتالـي التوصـل إلـى ترتيـب النيوكليوتيـدات المكونـة للجيـن الـذي سينسـخ منـه البروتيـن.

٥ نقـل جينـات وظيفيـة مـن خلايـا إلـى خلايـا أخـرى سـواء نباتيـة أو حيوانيـة بهـدف تحسـين النسـل واكتسـاب صفـات وراثيـة جديـدة.

٦ **بناء جزيئات DNA حسب الطلب كالتالي:**

- في عام ١٩٧٩م :

تمكـن العالـم الهنـدي الأصـل (أمريكـي الجنسـية) خورانـا Khorana مـن إنتـاج جيـن صناعـي وإدخالـه إلـي خلايـا بكتيريـة.

- حديثًا:

يوجـد فـي المعامـل نظـم چينيـة يمكـن برمجتهـا لإنتـاج شـريط قصيـر مـن DNA يحتـوي علـى تتابـع النيوكليوتيـدات الـذي ترغـب فيـه وذلـك عـن طريـق إضافـة النيوكليوتيـدات المطلوبـة وإنزيـم البلمـرة فـي أنابيـب اختبـار داخـل مـكان مخصـص وبرمجـة الآلـة لربـط النيوكليوتيـدات ببعضهـا لتكويـن الچيـن المطلـوب.

٧ استخدام DNA المبني حسب الطلب في تجارب تخليق البروتين.

٨ دراسة تأثير الأحماض الأمينية على وظيفة البروتين عن طريق تغيير الشفرة الوراثية لاستبدال حمض أميني بآخر مثل التجارب التي أجريت على بروتين الأنسولين لتغيير بعض الأحماض الأمينية ونتج عن ذلك تغير بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للأنسولين المخلق صناعيا كزيادة مدة عمله في الجسم وإمكانية حقنه مرة واحدة بدلًا من ٤ مرات يوميًا.

تقنيات التكنولوجيا الجزيئية

تهجين الأحماض النووية

تكوين جزئ حمض نووي يتكون من شريطين أحدهما من كائن حي والشريط المتكامل معه من كائن آخر أيا كان نوع الشريطين سواء DNA أو RNA.

آلية الحدوث

الخطوات	المشاهدة	الشكل التوضيحي
١ تمزج أحماض نووية DNA من مصدرين مختلفين (نوعين مختلفين من الكائنات الحية مثل الإنسان والقرد).	—	لوالب مزدوجة أصلية للكائن (أ) / لوالب مزدوجة أصلية للكائن (ب)
٢ ترفع درجة حرارة المزيج إلى 100 م	تتكسر الروابط الهيدروجينية الضعيفة الموجودة بين أزواج القواعد النيتروجينية المتكاملة فتنفصل جزيئات DNA إلى أشرطة مفردة غير ثابتة التركيب.	رفع درجة الحرارة ← أشرطة مفردة
٣ يترك الخليط ليبرد	يعاد تكوين الروابط الهيدروجينية مرة أخرى بشكل تلقائي حيث تميل الأشرطة المفردة للوصول لحالة الثبات فيحدث ازدواج للقواعد النيتروجينية المتكاملة بين الشرائط فتتكون بعض اللوالب المزدوجة الأصلية بالإضافة إلى عدد من اللوالب المزدوجة المهجنة (DNA مهجن) التي يتكون كل منها من شريط من كلا المصدرين.	التبريد ← لوالب مزدوجة أصلية للكائن (ب) / لوالب مزدوجة مهجنة / لولب مزدوج أصلي للكائن (أ) / أشرطة مفردة للكائن (أ)

الاستنتاج (الأساس العلمي)

تتوقف شدة التصاق الشريطين في اللولب المزدوج على:

- درجة التكامل بين تتابعات القواعد النيتروجينية ويمكن قياس شدة الالتصاق بمقدار الحرارة اللازم لفصل الشريطين عن بعضهما مرة أخرى فكلما كانت شدة الالتصاق كبيرة بين الشريطين زاد مقدار الحرارة اللازمة لفصلهما.
- يمكن استخدام قدرة الشريط المفرد لـDNA أو RNA على الالتصاق طويلًا في إنتاج لولب مزدوج هجين.

ملحوظات

- تتوقف درجة الحرارة اللازمة لفصل الشريطين عن بعضهما على درجة التكامل بين أزواج القواعد المتكاملة وعدد الروابط الهيدروجينية الموجودة بينها.
- وبالتالي فإن الأشرطة التي تحتوي على كمية كبيرة من قواعد الجوانين والسيتوزين تتطلب درجة حرارة أكبر من تلك التي تحتوي على كمية كبيرة من قواعد الأدنين والثايمين لأنها ترتبط معا بثلاث روابط هيدروجينية (عند تساوي العدد الكلي للنيوكليوتيدات في الشريطين).
- درجة الحرارة المستخدمة لفصل الشريطين عن بعضهما في تجارب التهجين غير كافية لكسر الروابط التساهمية بين أجزاء النيوكليوتيدات؛ لأنها روابط أقوى نسبيًا من الروابط الهيدروجينية وأكثر منها ثباتًا.
- DNA المهجن: عبارة عن لولب مزدوج يتكون من شريطين أحدهما من كائن حي والشريط المتكامل معه من كائن آخر.



تطبيقات (استخدامات) DNA المهجن

١ الكشف عن وجود جين معين وتحديد كميته داخل المحتوى الجيني لعينة ما، ويتم ذلك كالتالي :

- يحضر شريط مفرد لتتابعات النيوكليوتيدات يتكامل مع أحد أشرطة الجين محل الدراسة وذلك باستخدام نظائر مشعة (حتي يسهل التعرف عليه بعد ذلك).
- يخلط هذا الشريط مع العينة غير المعروفة.
- نستدل على وجود الجين وكميته في الخليط بالسرعة التي تتكون بها اللوالب المزدوجة المشعة.

مثل:

- الكشف عن وجود أحد الجينات المرضية مثل الجين BRCA الذي يستدل منه على وجود أورام الثدي لدى النساء.

٢ تحديد العلاقات التطورية بين الأنواع المختلفة من الكائنات الحية.

- حيث إنه كلما تشابه تتابع النيوكليوتيدات الموجودة في DNA بين نوعين مختلفين من الكائنات الحية وزادت درجة التهجين بينهما، كلما كانت العلاقات التطورية بينهما أقرب.

مثل:

الاستدلال على نظرية التطور من خلال درجة القرابة العالية بين الإنسان والشمبانزي.

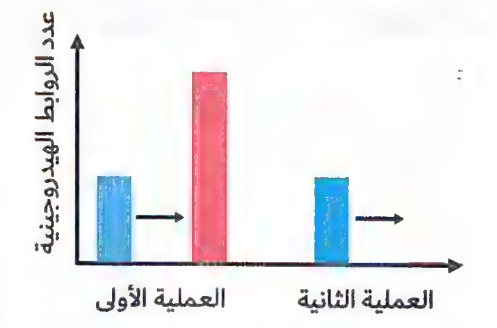
أسئلة الأداء الذاتي:

١ أي من جزيئات DNA التالية من شأنه أن ينفصل شريطاه في درجة حرارة أقل من جزيء آخر يحتوي ٤٠ زوجًا من القواعد النيتروجينية وبه نسب متساوية من القواعد الأربع ؟

Ⓐ جزيء يحتوي على ٥٠ زوجًا من القواعد، منها ٢٥٪ سيتوزين
Ⓑ جزيء يحتوي على ٤٠ زوجًا من القواعد، منها ٢٠٪ أدنين
Ⓒ جزيء يحتوي على ٤٠ زوجًا من القواعد، منها ٣٠٪ جوانين
Ⓓ جزيء يحتوي على ٣٠ زوجًا من القواعد، منها ٣٠٪ ثايمين

٢ الشكل المقابل يوضح أحد التجارب التي أجريت على قطع DNA لكائنين مختلفين، ماذا تستنتج من دراسة نتيجة التجربة السابقة ؟



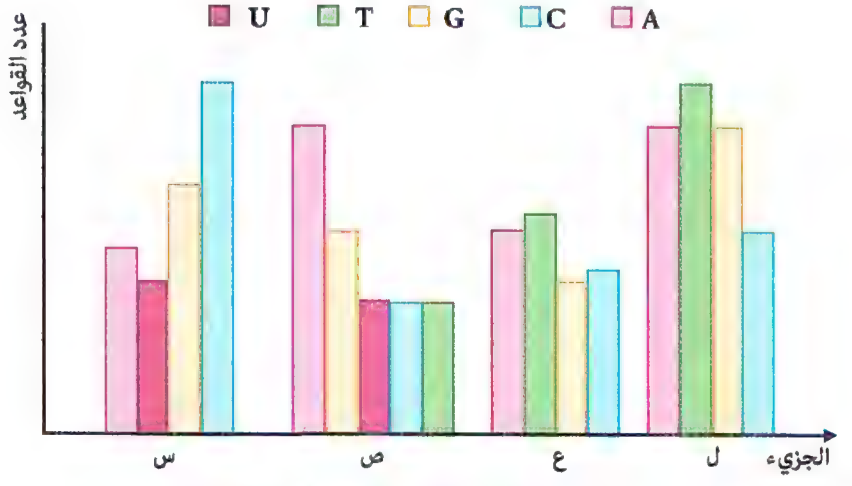


Ⓐ وجود تطابق بين تتابع النيوكليوتيدات في المحتوى الجيني للكائنين
Ⓑ الروابط الهيدروجينية قوية صعبة الكسر ومقاومة للحرارة
Ⓒ الكائنان لا ينتميان لنفس الشعبة في التصنيف الوراثي
Ⓓ تركيب DNA ثابت لا يتأثر بالتسخين أو التبريد

٣ من خلال دراستك للشكل المقابل :
أي البدائل التالية تعبر عن درجة الحرارة التي تحدث عندها العمليتان الأولى والثانية في جزيء DNA لأحد خلايا الإنسان ؟

	العملية الأولى	العملية الثانية
Ⓐ	٣٧ درجة مئوية	١٠٠ درجة مئوية
Ⓑ	٣٧ درجة مئوية	٣٧ درجة مئوية
Ⓒ	١٠٠ درجة مئوية	٣٧ درجة مئوية
Ⓓ	١٠٠ درجة مئوية	١٠٠ درجة مئوية

٤ يوضح التمثيل البياني الآتي عدد القواعد النيتروجينية المختلفة لعدة عينات من الأحماض النووية المهجنة. ادرس الشكل ثم أجب :



أي من هذه العينات تمثل ناتج تهجين الحمض النووي لكل من الأميبا وفيروس شلل الأطفال ؟

Ⓐ العينة (س) Ⓑ العينة (ص) Ⓒ العينة (ع) Ⓓ العينة (ل)

إنزيمات القصر (القطع) البكتيرية

بروتينات محللة تكونها بعض سلالات البكتيريا والكائنات الدقيقة الأخرى لمقاومة الفيروسات المهاجمة لها عن طريق التعرف على مواقع معينة على DNA الفيروسي الغريب وتهضمه إلى قطع عديمة القيمة.

✪ **العدد:** استطاع العلماء -حتى الآن- عزل عدد كبير جدا من إنزيمات القصر من الكائنات الحية الدقيقة قد يصل إلى أكثر من ٢٥٠ نوعًا.

✪ **تاريخ اكتشافها:**

- **لاحظ** العلماء أن الفيروسات التي تنمو داخل سلالات معينة من بكتيريا (E.coli) يقتصر نموها على هذه السلالات فقط ولا تستطيع أن تنمو داخل سلالات أخرى.
- **في السبعينات من القرن الماضي** أرجع الباحثون عدم وجود هذه الفيروسات داخل سلالات أخرى من البكتيريا إلى أن هذه السلالات المقاومة للفيروسات تفرز إنزيمات تتعرف على مواقع معينة على جزيء DNA الفيروسي الغريب وتهضمه إلى قطع عديمة القيمة سميت فيما بعد بـ«إنزيمات القصر».
- **مع تطور وسائل التحليل البيوكيميائي** استطاع العلماء فصل عدد كبير من هذه الإنزيمات والتعرف على خصائصها والمقارنة بينها لمعرفة آلية عملها.

✪ **آلية عملها:**

١ يتعرف كل إنزيم من إنزيمات القصر على تتابع معين يوجد على DNA مكون من (٤ : ٧) نيوكليوتيدات يعرف بـ«موقع التعرف» بغض النظر عن مصدر DNA (بكتيري - فيروسي - نباتي - حيواني).

٢ يقص الإنزيم جزيء DNA عند هذا الموقع أو بالقرب منه بحيث يكون تتابع القواعد النيتروجينية على شريطي DNA عند موضع القطع هو نفسه عندما يقرأ التتابع على كل شريط في اتجاه (5´⟵3´) تاركا أطرافا لاصقة مفردة.

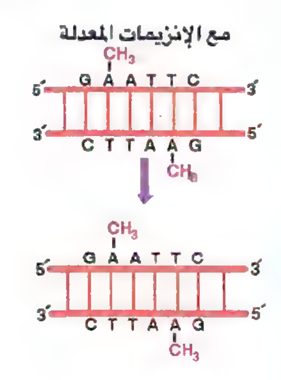
ملحوظات

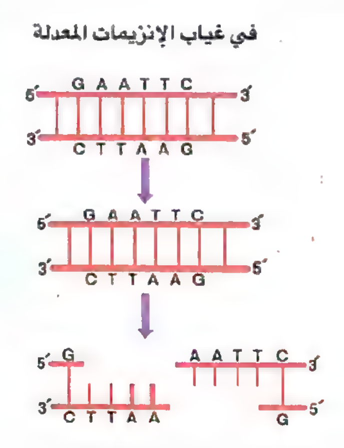
١ إنزيمات القصر لا تتكون في البكتيريا إلا بعد إصابتها بالفيروس لذا يمكن اعتبارها أحد خطوط الدفاع المناعية التي تكونها البكتيريا لحماية نفسها من غزو الكائنات الممرضة.

٢ لا تهاجم إنزيمات القصر البكتيرية الحمض النووي DNA الخاص بالبكتيريا رغم احتوائه على العديد من مواقع التعرف، وذلك لأن هذه الأنواع من البكتيريا تفرز إنزيمات معدلة تضيف مجموعة ميثيل CH3 إلى النيوكليوتيدات في مواقع جزيء DNA البكتيري التي تتماثل مع مواقع تعرف الفيروس مما يجعل DNA البكتيري مقاومًا لفعل هذه الإنزيمات وبذلك تحافظ الخلية البكتيرية على DNA الخاص بها من التحلل.

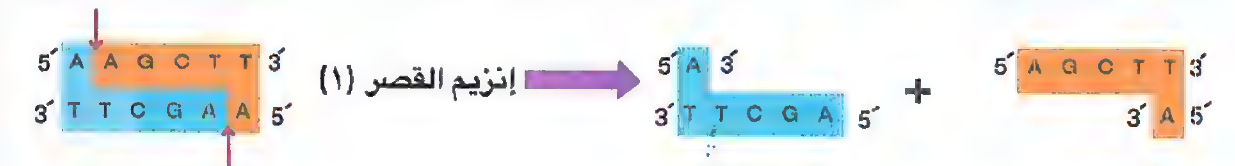
٣ تفرز البكتيريا المقاومة للفيروسات الإنزيمات المعدلة أولا ثم إنزيمات القصر حتى لا تتحلل مادتها الوراثية.

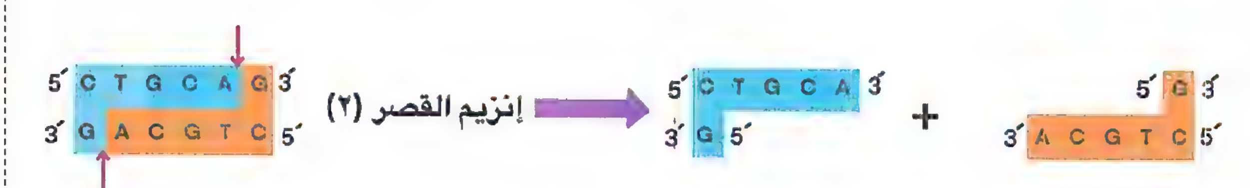
إنزيمات القصر





٤ لكل إنزيم قصر القدرة على قطع جزيء DNA بغض النظر عن مصدره وذلك لأن كل جزيئات DNA تتكون من نفس النيوكليوتيدات الأربعة وبالتالي يستطيع إنزيم القصر قطع جزئ DNA بغض النظر عن مصدره (فيروسي أو بكتيري أو نباتي أو حيواني) ما دام هذا الجزء يحتوي على نسخة أو أكثر من تتابعات التعرف.

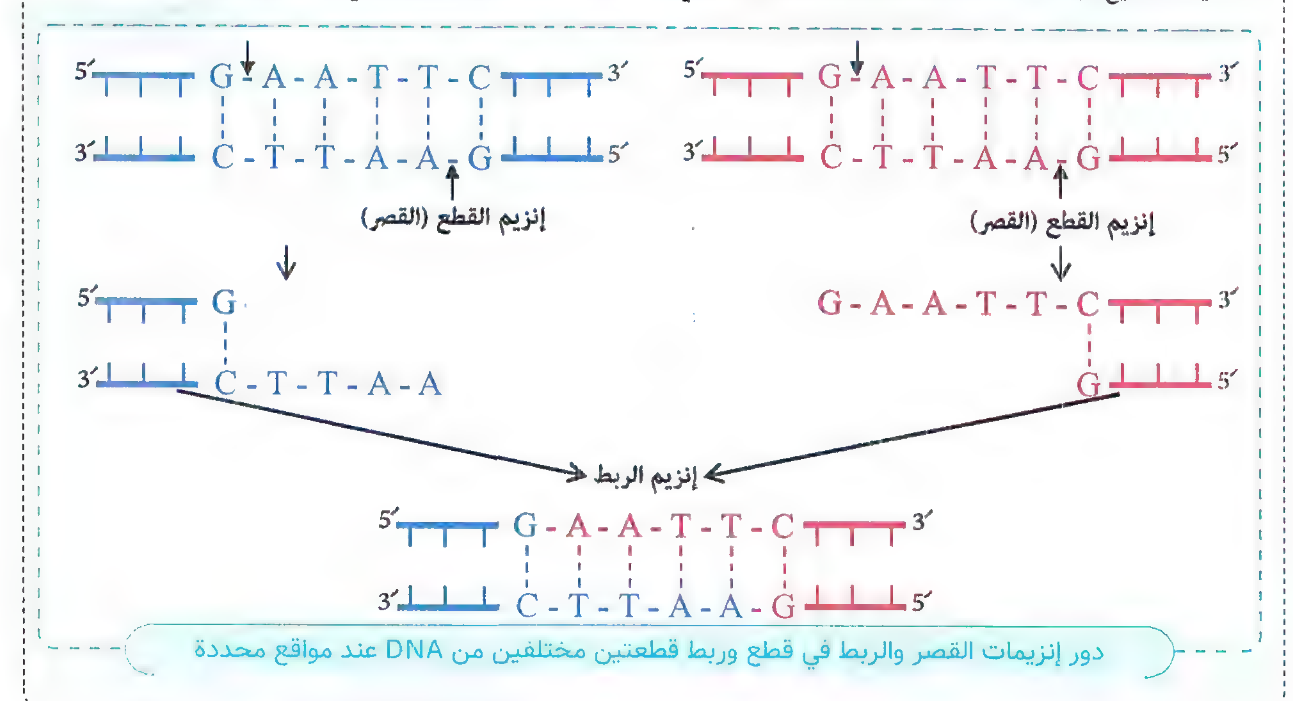




٥ إنزيمات القصر تعمل على تكسير الروابط الهيدروجينية بين أزواج القواعد المتكاملة والروابط التساهمية عند مواقع محددة على DNA (مواقع التعرف) ، بينما إنزيم الديوكسي ريبونيوكليز يحلل DNA كله تحليلا كاملا إلى مستوى النيوكليوتيدات.

دور إنزيمات القصر في تطبيقات الهندسة الوراثية:

- توفر وسيلة لقص DNA إلى قطع معلومة النيوكليوتيدات مكونة «أطرافًا لاصقة» وهي عبارة عن أشرطة مفردة مائلة يمكن أن تتزاوج قواعدها مع أطراف قطعة أخرى لشريط آخر ينتج من استخدام نفس الإنزيم على أي DNA آخر ثم يتم ربط الشريطين معًا إلى شريط واحد باستخدام إنزيم ربط، وبهذه الطريقة يستطيع الباحث لصق قطعة معينة من جزيء DNA بقطعة أخرى من جزيء DNA آخر.



دور إنزيمات القصر والربط في قطع وربط قطعتين مختلفين من DNA عند مواقع محددة



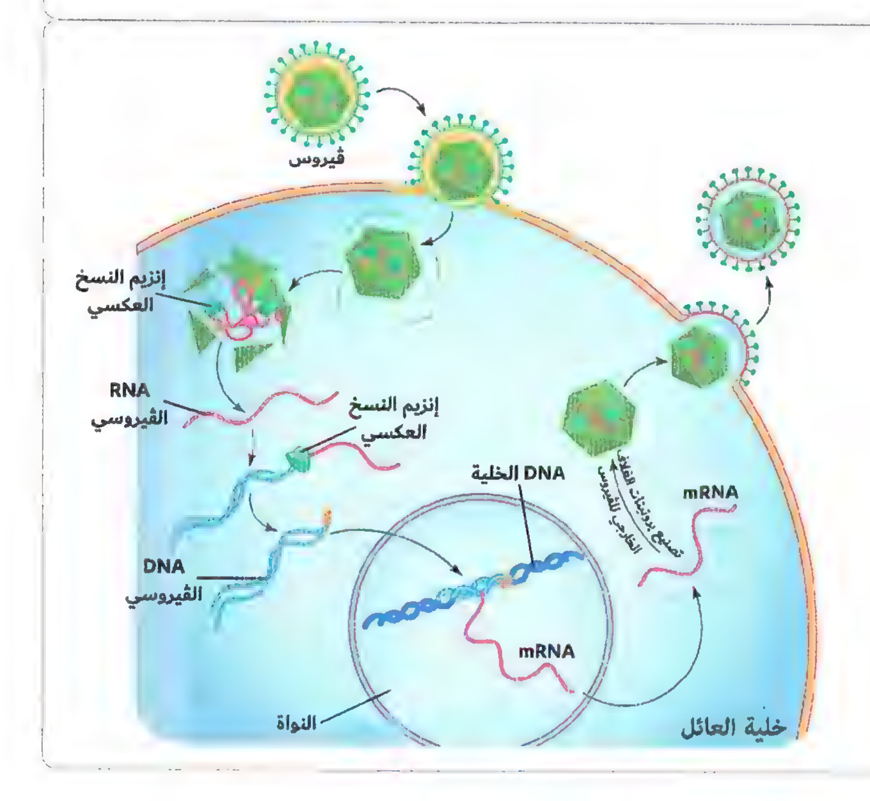

استنساخ تتابعات DNA

الحصول على عدد كبير من النسخ لأحد الجينات المطلوبة كجين الأنسولين من خلال إضافته لمزرعة بكتيرية أو فطر الخميرة عن طريق البلازميد أو باستخدام وسائل تكنولوجية حديثة كجهاز PCR.

طرق الحصول على تتابعات DNA (الجينات) المراد استنساخها

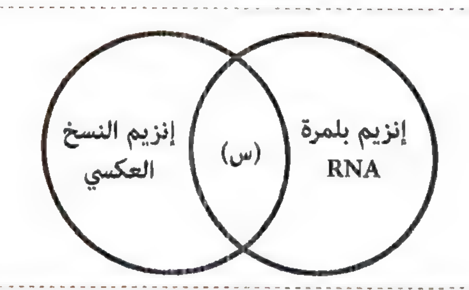
الطريقة	الخصائص	الإنزيمات	الآلية
① فصل DNA (من المحتوى الجيني للخلية)	• طريقة مباشرة. • أكثر تعقيدًا. • أقل دقة. • يمكن من خلالها الحصول على ملايين النسخ من قطع DNA المراد استنساخها.	• إنزيمات القصر	- يتم الحصول على المحتوى الجيني للخلية (فصل كمية DNA الموجودة بها) باستخدام تقنيات مختلفة اشهرها إضافة الإيثانول المجمد إلى أنبوبة اختبار تحتوي على بعض خلايا الجسم - يتم قص قطعة DNA (الجين) بواسطة إنزيمات القصر المخصصة لكل جين. - يتم عزل الجين المراد استنساخه من الأنبوبة باستخدام تقنيات انتقائية مختلفة.
② استخدام mRNA	• طريقة غير مباشرة. • أقل تعقيدًا. • أكثر دقة.	• إنزيمات النسخ العكسي • إنزيمات بلمرة DNA	- يتم عزل mRNA من بعض الخلايا التي يكون بها الجين نشطًا، مثل: • خلايا البنكرياس التي تُكون الأنسولين. • الخلايا المولدة لكرات الدم الحمراء في نخاع العظام الأحمر التي تُكوِّن الهيموجلوبين. - يتم استخدام mRNA كقالب لبناء شريط DNA يتكامل معه وذلك باستخدام إنزيم النسخ العكسي - يتم بناء الشريط المتكامل مع شريط DNA المتكون بواسطة إنزيم بلمرة DNA فنحصل على لولب مزدوج من DNA يمكن استنساخه.

إنزيم النسخ العكسي

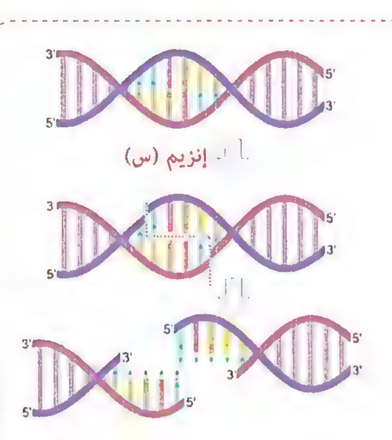
مكان الوجود	توجد شفرته في الفيروسات التي محتواها الجيني RNA مثل فيروس الإيدز.
الوظيفة	ضمان تضاعف الفيروسات داخل خلية العائل وذلك لاحتواء السيتوبلازم في خلية العائل على إنزيمات محللة لـRNA.
آلية العمل	تحويل المادة الوراثية للفيروس من RNA إلى DNA يرتبط بخلية العائل فلا يتحلل في السيتوبلازم لعدم وجود إنزيمات محللة لـDNA في السيتوبلازم.
التأثير على الروابط الكيميائية	تكوين روابط تساهمية بين النيوكليوتيدات المتجاورة على شريط DNA.
الشكل التوضيحي	

أسئلة الأداء الذاتي:

٥ من الشكل المقابل، إلام يشير الرمز (س) ؟



Ⓐ تكوين روابط تساهمية فقط
Ⓑ تكوين روابط هيدروجينية وأخرى تساهمية
Ⓒ إضافة قواعد يوراسيل للشريط الجديد
Ⓓ إضافة قواعد ثايمين للشريط الجديد



٦ ادرس الشكل المقابل جيدًا ثم أجب :

يعمل الإنزيم (س) بشكل طبيعي على المحتوى الجيني الخاص بـ ....

Ⓐ إيشريشيا كولاي
Ⓑ البكتيريوفاج
Ⓒ فيروس الإيدز
Ⓓ الخميرة

٧ أي أزواج الكائنات الحية التالية يمكن معاملتها بنفس إنزيمات القصر للحصول على أطراف لاصقة متكاملة؟

Ⓐ الفاج وفيروس الإيدز
Ⓑ إيشريشيا كولاي والخنزير
Ⓒ فيروس الإنفلونزا والخميرة
Ⓓ بكتيريا حمض اللاكتيك والكورونا

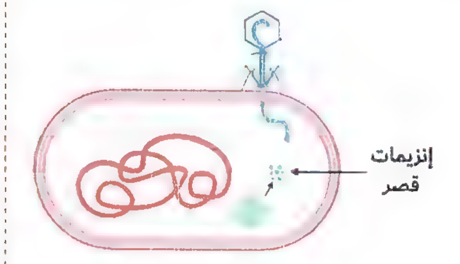
٨ من خلال دراستك للشكل التالي :



أي البدائل التالية صحيحة ؟

	قطعة DNA في الشكل (١)	قطعة DNA في الشكل (٢)	إنزيمي القصر
Ⓐ	للفيروس	للخلية البكتيرية في وجود الإنزيمات المعدلة	نوعين مختلفين
Ⓑ	للخلية البكتيرية في غياب الإنزيمات المعدلة	للخلية البكتيرية في وجود الإنزيمات المعدلة	نفس النوع
Ⓒ	للخلية البكتيرية في غياب الإنزيمات المعدلة	للفيروس	نفس النوع
Ⓓ	للخلية البكتيرية في وجود الإنزيمات المعدلة	للخلية البكتيرية في غياب الإنزيمات المعدلة	نفس النوع

٩ ما تفسيرك لتوقف تكاثر الفاج داخل الخلية البكتيرية الموضحة بالشكل المقابل ؟



(أ) تحلل الحمض النووى الريبوزى الخاص بالفيروس تحليلا كاملا
(ب) عدم وجود مستقبلات للفيروس على غشاء الخلية البكتيرية
(ج) غياب الريبوسومات اللازمة لتصنيع إنزيمات التضاعف الخاصة بالفيروس
(د) قطع الحمض النووى منقوص الأكسجين إلى أجزاء عند مواقع محددة

١٠ الرسم يوضح مجموعة من البلازميدات وقطع DNA (سبق معاملتها بنفس إنزيم القصر البكتيري) فإذا لم تتواجد إنزيمات الربط خلال تلك العملية، ما الذي تتوقعه بالنسبة لارتباط هذه القطع مع البلازميدات ؟



(أ) تتكون الروابط التساهمية فقط
(ب) تتكون كل من الروابط التساهمية والهيدروجينية
(ج) تتكون الروابط الهيدروجينية فقط
(د) لا تتكون أي روابط

طـرق استنسـاخ قطـع DNA

١ استخدام البلازميد أو الفاج

يعامـل كل مـن الجيـن والبلازميـد بنفـس إنزيمـات القصـر حتـى تتعـرف علـى نفـس مواقـع التعـرف وتقـص DNA عندهـا مكونـة نفـس الأطـراف اللاصقـة فتتـزاوج قواعـد النهايـات اللاصقـة للبلازميـد مـع نهايـات القواعـد اللاصقـة للجيـن المـراد استنسـاخه بروابـط هيدروجينيـة ثـم يتـم ربـط الاثنيـن معًـا بروابـط تسـاهمية بنفـس إنزيـم الربـط.

↓

يضـاف البلازميـد إلـى مزرعـة مـن البكتيريـا أو خلايـا الخميـرة التـي سـبق معاملتهـا مسـبقا بالحـرارة وكلوريـد الكالسـيوم لزيـادة نفاذيتهـا لــDNA حيث تدخـل البلازميـدات إلـى داخـل الخلايـا وكلما نمـت هـذه الخلايا وانقسمـت تتضـاعـف البلازميــدات مـع تضاعـف المحتـوى الجينـي للخليـة.

↓

يتم تكسير الخلايا وتحرير البلازميدات منها وعليها قطع الجين المستنسخة.

↓

يتم إطلاق الجين من نفس البلازميدات باستخدام نفس إنزيمات القصر التي سبق استخدامها.

↓

يتم عزل الجينات بالطرد المركزي المفرق.

وبذلـك يصبـح لـدى الباحـث كميـة كافيـة مـن الجينـات المتماثلـة يسـتطيع تحليلهـا لمعرفـة تتابـع النيوكليوتيـدات بهـا أو زراعتهـا فـي خلايـا أخـرى أو اسـتخدامها فـي تجـارب التكنولوجيـا الجزيئيـة.

قطعة من DNA
AAGCTT
TTCGAA
AAGCTT
TTCGAA
إنزيم القطع
AGCTT
A
A
TTCGA
طرف لاصق
بلازميد
AAGCTT
TTCGAA
R
إنزيم القطع
أطراف لاصقة
A
TTCGA
AGCTT
A
R
إنزيم الربط
AAGCTT
TTCGAA
AAGCTT
TTCGAA
R
بلازميد معاد الاتحاد
إدخال بلازميد معاد الاتحاد في خلية بكتيرية
DNA بكتيري
بكتريا منزوعة البلازميد
إدخال بلازميد معاد الاتحاد
تضاعف بلازميد معاد الاتحاد

استنساخ DNA

ب استخدام جهاز Polymerase Chain Reaction (PCR)

جهاز PCR

أحد الأجهزة الحديثة تم اختراعه بواسطة العالم الأمريكي كاري موليس عام ١٩٨٥ وأخذ عليه جائزة نوبل في الكيمياء.

جهاز PCR

- **آلية عمله:** مضاعفة قطع DNA آلاف المرات خلال دقائق باستخدام إنزيم تاك بوليميريز Taq Polymerase الذي يعمل عند درجة حرارة مرتفعة جدًا.

- **أشهر استخداماته:**
  1. معرفة ترتيب القواعد النيتروجينية في المحتوى الجيني وبالتالي سهولة تصنيف الكائنات الحية.
  2. تشخيص بعض الأمراض الوراثية الناتجة عن وجود خلل في التركيب الجيني قبل أو بعد الولادة.
  3. تشخيص بعض الأمراض الفيروسية مثل الإصابة بفيروس كورونا.
  4. البحث الجنائي وقضايا إثبات النسب أو نفيه.

- **عيوبه:** عدم إصلاح الأخطاء التي تحدث أثناء تضاعف قطع DNA لعدم وجود إنزيمات إصلاح عيوب DNA خارج الخلية.

- مقارنة بين إنزيم التاك بوليميريز وإنزيم بلمرة DNA:

	إنزيم التاك بوليميريز	إنزيم بلمرة DNA
مكان الوجود	يتكون داخل نوع معين من البكتيريا التي تعيش في المياه الحارة ويتم استخراجه منها لاستخدامه في جهاز PCR خارج الخلايا.	يتكون داخل جميع الخلايا الحية سواء أوليات النواة أو حقيقيات النواة.
تأثير الحرارة	لا يتأثر بالحرارة العالية ويعمل في وجودها، ودرجة حرارته المثلى ٧٢ درجة مئوية.	يتأثر بالحرارة العالية ولا يعمل في وجودها.
الوظيفة	مضاعفة قطع DNA آلاف المرات خلال عدة دقائق في جهاز PCR.	تضاعف DNA داخل الخلية عن طريق بناء أشرطة DNA الجديدة وذلك بإضافة نيوكليوتيدات جديدة والربط بينها من البداية ٥ إلى النهاية ٣ لشريط DNA الجديد.
التأثير على الروابط الكيميائية	تكوين روابط تساهمية بين النيوكليوتيدات المتجاورة على شريط DNA والتي بدورها تكون روابط هيدروجينية مع النيوكليوتيدات المقابلة على الشريط الآخر.	

DNA معاد الاتحاد

عملية إدخال جزء من DNA الخاص بكائن حي إلى خلايا كائن حي آخر.

يتخيل بعض العلماء أنه قد يأتي الوقت الذي يمكن فيه إدخال نسخًا من جينات طبيعية إلى بعض الأفراد المصابة بعض جيناتهم بالعطب وبذلك نزيل عنهم المعاناة ونعفيهم من الاستخدام المستمر للعقاقير لعلاج النقص الوراثي..

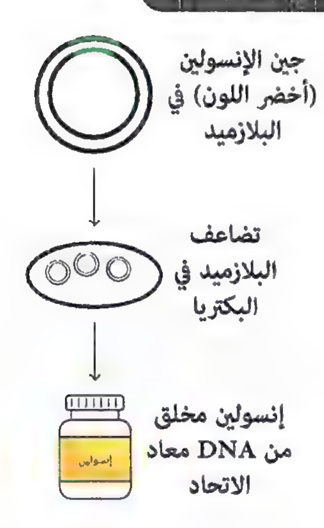
ومن الواضح أن هذه التكنولوجيا قد تكون خطرة جدًا لو استخدمت لتحقيق أغراض أخرى ولذلك هناك من يعارضون بشدة استمرار البحث في هذا المجال.

التطبيقات العملية لتكنولوجيا DNA معاد الاتحاد

في مجال الطب

إنتاج بروتينات مفيدة على نطاق تجاري واسع، مثل:

١ إنتاج هرمون الأنسولين البشري الذي يحتاجه يوميا ملايين البشر المصابين بمرض السكر



- رخصت الولايات المتحدة الأمريكية استخدام الأنسولين المعد بتكنولوجيا DNA معاد الاتحاد عام ١٩٨٢م لأول مرة.
- كان يتم استخلاص الأنسولين قبل ذلك من بنكرياس المواشي والخنازير وهذه العملية طويلة ومرتفعة التكلفة.
- تمكن العلماء من إدخال جينات الأنسولين داخل خلايا بكتيرية وبذلك أصبحت البكتيريا نفسها منتجة للأنسولين.
- الأنسولين البشري الذي تنتجه البكتيريا ما زال مرتفع التكلفة إلا أنه أفضل لبعض المرضى الذين لا يتحملون الفروق الطفيفة بين الأنسولين البشري وأنسولين الأنواع الأخرى.
- مع تحسين طرق الإنتاج قد يصير الأنسولين البكتيري أقل تكلفة.

٢ إنتاج الإنترفيرونات Interferones

- **الإنتاج:** إدخال جينات الإنترفيرونات البشرية داخل خلايا بكتيرية وبذلك تصبح البكتيريا منتجة للإنترفيرونات وقد بلغ عدد هذه الجينات حوالي ١٥ جينًا.
- **الأهمية:** وقف تضاعف الفيروسات خاصة التي يكون محتواها الجيني RNA مثل الإنفلونزا وشلل الأطفال والإيدز حيث تنطلق الإنترفيرونات من الخلايا المصابة بالفيروس إلى الخلايا المجاورة لها لتعمل على وقايتها من مهاجمة الفيروس.
- **الآمال حول الإنترفيرونات:** تخيل العلماء أنه يمكن استخدامها في علاج بعض الأمراض الفيروسية بالإضافة إلى بعض أنواع السرطان ولكن الدراسات المبدئية لاستخدام الإنترفيرون في علاج السرطان كانت مخيبة للآمال وقد يرجع ذلك لمشاكل تقنية يمكن التغلب عليها فيما بعد.
- **التكلفة:** كان الإنترفيرون المستخدم في الطب حتى عام ١٩٧٠م يستخلص بصعوبة من الخلايا البشرية لذلك كان نادر الوجود ومرتفع الثمن، وقد تمكن الباحثون في مصانع الأدوية في الثمانينات من إدخال ١٥ جينا بشريًا للإنترفيرون داخل خلايا بكتيرية وبذلك أصبح الإنترفيرون الآن وفيرًا ورخيص الثمن نسبيًا.

ب في مجال الزراعة

قد يتمكن الباحثون الزراعيون في القريب العاجل من:

1. إدخال جينات مقاومة المبيدات العشبية وبعض الأمراض الهامة لنباتات المحاصيل

2. عزل ونقل الجينات الموجودة في النباتات البقولية والتـي تُمكنهـا مـن اسـتضافة البكتيريـا القـادرة علـى تثبيـت النيتروجيـن الجـوي فـي جذورهـا) إلـى نباتـات محاصيـل أخـرى لا تسـتطيع اسـتيعاب هـذه البكتيريـا، ومـن ثـم يمكـن الاسـتغناء عـن إضافـة الأسـمدة النيتروجينية عاليـة التكلفـة والتي تسـبب تلويـث الميـاه فـي المناطـق الزراعيـة.

للاطلاع فقط

- تستطيع بعض النباتات البقولية استضافة نوع معين من البكتيريا على العقد الجذرية الخاصة بها حيث تنشأ بينهما علاقة تبادل منفع mutualism تتمثل في:
  - حصول البكتيريا على الكربوهيدرات كمصدر تغذية من العقد الجذرية للبقوليات.
  - تحويل البكتيريا النيتروجين الجوي الموجود في صورة غازية (لا تستطيع النباتات البقولية امتصاصه) إلى نيتروجين عضوي في صورة بروتينات تتحلل بعد ذلك لتعطي النيتروجين المعدني في صورة أملاح النترات أو الأمونيا مثلا يمكن لهذه النباتات امتصاصه والاستفادة به.

ج في مجال التجارب والأبحاث

لقد تمكن الباحثون من:

1. زرع جين لون الياقوت الأحمر للعيون من سلالة من ذبابة الفاكهة (الدروسـوفيلا) فـي خلايـا مقـرر لهـا أن تكـون أعضـاء تكاثريـة لجيـن مـن سـلالة أخـرى وعندمـا نمـت الأجنـة إلـى أفـراد انتقـل إليهـا الجيـن الـذي أضفـى علـى الأجيـال الناتجـة عـن هـذه الأفـراد صفـة لـون الياقـوت الأحمـر للعيـون بـدلاً مـن اللـون البنـي.

2. إدخال جين يحمل شفرة هرمون النمو من فأر من النوع الكبير (أو من انسان) الى فئران من النوع الصغير

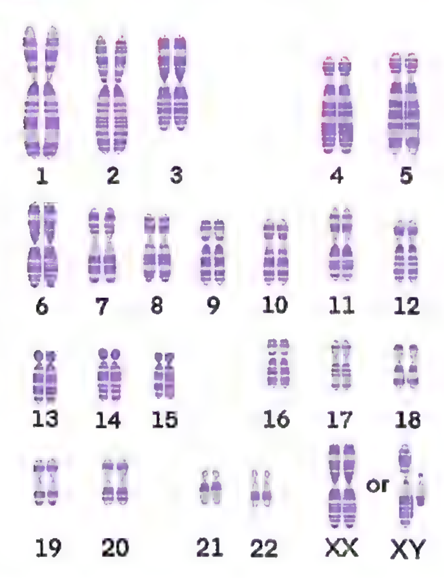
فنمت هذه لفئران الصغيرة إلى ضعف حجمها الطبيعي، وقد انتقلت هذه الصفة إلى الأجيال التالية.

القلق من مخاطر DNA معاد الاتحاد

يعتري بعض العلمـاء القلـق لأنـه مـن المحتمـل أن يتـم إدخـال جيـن مسـئول عـن إنتـاج مـادة سـامة خطرة داخل خلايـا بكتيريـة وإطلاقهـا فـي العالـم ولكـن هـذا الاحتمـال ضعيـف ؛ لأنـه علـى الرغـم مـن أن سـلالات البكتيريـا المسـتخدمة فـي تجـارب DNA معـاد الاتحـاد هـي E.coli التـي تعيـش فـي أمعـاء الإنسـان إلا أن السـلالة المسـتخدمة فـي التجـارب لـم تعـش داخـل جسـم الإنسـان لعـدة آلاف مـن الأجيـال وقـد تغيـرت هـذه البكتيريـا فأصبحـت غيـر قـادرة علـى الحيـاة إلا فـي منازلهـا مـن أنابيـب الاختبـار.

الچينوم البشري

المجموعـــة الكاملـــة مـــن الجينـــات الموجـــودة على كروموســـومات الخليـــة البشـــرية.



فـــي الخمســـينيات من القـــرن الماضي، كان أفضل اكتشـــاف بيولوجي هو إثبات واطســـون وكريك عـــام ١٩٥٣ أن الجينـــات عبارة عن لولب مـــزدوج من الحمـــض النووي DNA.
بعدها بدأ العلماء في البحث عن الجينات وتوالت الاكتشافات.

↓

في عام ١٩٨٠ م ظهرت فكرة الچينوم البشري وتعرف العلماء على حوالي ٤٥٠ جينًا من الجينات البشرية.

↓

في منتصف الثمانينات توصل العلماء إلى ١٥٠٠ جينًا بعضها:
- يسبب زيادة الكوليسترول في الدم (أحد أسباب مرض القلب).
- يمهد للإصابة بالأمراض السرطانية.

↓

حديثًا : توصـــل العلماء إلى وجـــود من ٦٠ : ٨٠ ألف جين في الإنســـان موجـــودة على ٢٣ زوج من الكروموســـومات وتعـــرف المجموعة الكاملة للجينات بالچينوم البشـــري وتم اكتشـــاف أكثـــر من نصف هذه الجينـــات حتى الآن.

ملحوظات

ترتب الكروموســـومات من رقم (١) : (٢٣) حســـب الحجـــم فيما يعرف بـ«الطرز الكروموســـومي» ولا يخضع الكروموســـوم (X) لهذا الترتيب لأنه كروموســـوم جنســـي وباقي الكروموســـومات جســـدية لذلك فهو يلي الكروموســـوم الســـابع في الحجم ولكنه يترتب في نهاية الكروموســـومات ويحمـــل الرقم (٢٣).

✪ أمثلة لموضع الجينات التي تم تحديدها على الكروموسومات في الإنسان:

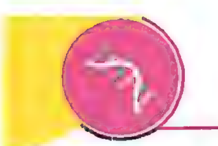
الجين	• چين البصمة. (چين الطب الجنائي)	• چينات فصائل الدم.	• الچيـــن المســـئول عـــن تكويـــن الأنســـولين. • الچيـــن المســـئول عـــن تكويـــن الهيموجلوبيـــن.	• چين عمي الألوان. • چيـــن الهيموفيليـــا (ســـيولة الـــدم).
الموضع	الكروموســـوم الثامن	الكروموسوم التاسع	الكروموسوم الحادي عشر	الكروموسوم (X)

استخدامات الجينوم البشري

1. معرفة الجينات المسببة للأمراض الوراثية الشائعة والنادرة.
2. معرفة الجينات المسببة لعجز بعض الأعضاء عن أداء وظائف الجسم.
3. الاستفادة منه في المستقبل في صناعة العقاقير والوصول إلى عقاقير بلا آثار جانبية.
4. دراسة تطور الكائنات الحية من خلال مقارنة الجينوم البشري بغيره من جينات الكائنات الحية الأخرى.
5. تحسين النسل من خلال التعرف على الجينات المرضية في الجنين قبل ولادته والعمل على تعديلها.
6. تحديد خصائص وصفات أي إنسان يعيش على سطح الأرض من خلال فحص خلية جسدية أو حيوان منوي، فيمكن من خلال الجينوم البشري أن نرسم صورة لكل شخص بكل ملامح وجهه.

أهم الإنزيمات في باب البيولوجيا الجزيئية

الإنزيم	الأهمية البيولوجية	التأثير على الروابط الكيميائية
الديوكسي ريبونيوكليز	إثبات أن DNA هو المادة الوراثية وليس البروتين.	تكسير الروابط التساهمية والهيدروجينية وبالتالي يعمل على تحليل DNA تحليلا كاملا إلى مستوى نيوكليوتيدات مفردة.
اللولب	يشارك في تضاعف DNA في أوليات وحقيقيات النواة.	تكسير الروابط الهيدروجينية بين أزواج القواعد المتكاملة فيفصل اللولب المزدوج إلى شرائط مفردة.
بلمرة DNA	يشارك في تضاعف DNA في أوليات وحقيقيات النواة.	تكوين روابط تساهمية بين النيوكليوتيدات المتجاورة والتي بدورها تكون روابط هيدروجينية مع النيوكليوتيدات المتقابلة بشكل تلقائي.
الربط	• يشارك في تضاعف DNA في أوليات وحقيقيات النواة. • إصلاح عيوب DNA. • يلعب دور هام في الهندسة الوراثية.	تكوين روابط تساهمية بين النيوكليوتيدات المتجاورة والتي بدورها تكون روابط هيدروجينية مع النيوكليوتيدات المتقابلة بشكل تلقائي.
بلمرة RNA	نسخ الـDNA إلى RNA.	تكوين روابط تساهمية بين الريبونيوكليوتيدات المتجاورة.



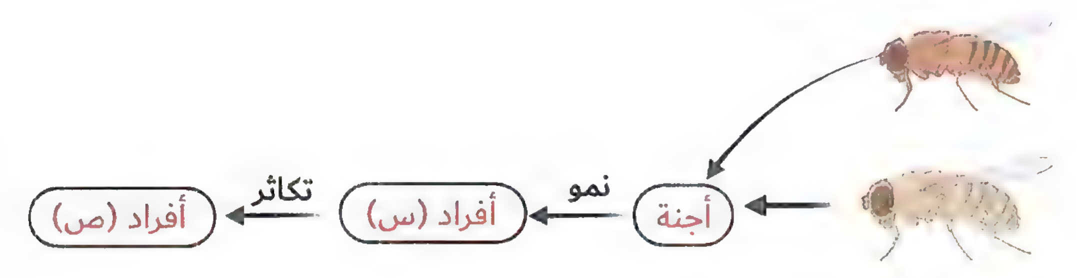




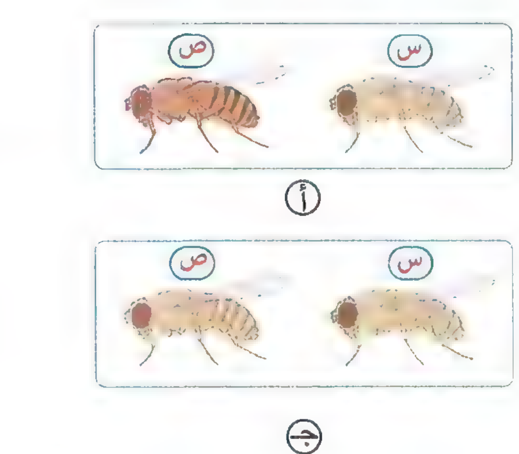
الإنزيم المنشط لتفاعل نقل الببتيديل	يشارك في تخليق البروتين أثناء عملية ترجمة mRNA.	تكوين روابط ببتيدية بين الأحماض الأمينية وبعضها لتكوين سلسلة عديد ببتيد.
القصر	• حماية البكتيريا والكائنات الدقيقة من مهاجمة الفيروسات لها. • تستخدم في تجارب استنساخ تتابعات DNA.	تكسير الروابط التساهمية والهيدروجينية عند مواضع محددة على DNA تعرف بمواقع التعرف.
النسخ العكسي	• تضاعف الفيروسات التي محتواها الجيني RNA في خلية العائل. • يستخدم في تجارب استنساخ تتابعات DNA.	تكوين روابط تساهمية بين النيوكليوتيدات المتجاورة أثناء تكوين DNA من RNA .
إنزيم التاك بوليمريز	مضاعفة DNA في جهاز PCR.	تكوين روابط تساهمية بين النيوكليوتيدات المتجاورة والتي بدورها تكون روابط هيدروجينية مع النيوكليوتيدات المتقابلة بشكل تلقائي.

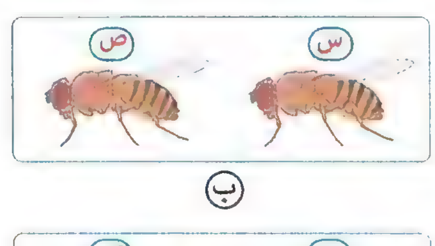
أسئلة الأداء الذاتي:

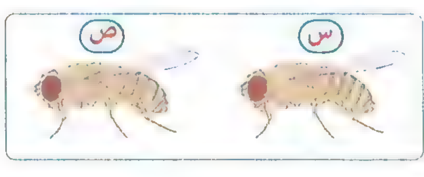
11 من خلال دراستك للتجربة التي قام بها العلماء على حشرة الدروسوفيلا في مجال تكنولوجيا DNA معاد الاتحاد والموضحة بالشكل المقابل، أجب عن السؤال التالي :

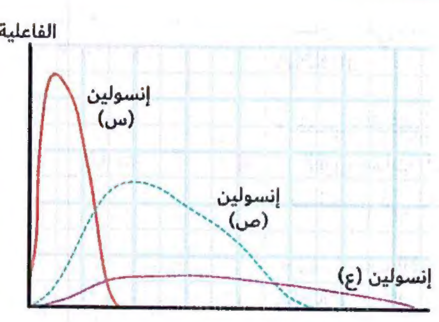


أي من الأشكال التالية تعبر عن الأفراد (س) و(ص) ؟









١٢ تُستخدم الهندسة الوراثية لإنتاج أنواع مختلفة من الإنسولين لعلاج مرضى البول السكري، الرسم البياني التالي يوضح فاعلية ٣ أنواع منها، ادرسه جيدًا ثم أجب :

١) أي هذه الأنواع يمكن أن يستخدمه طبيب الطوارئ لعلاج مريض في حالة غيبوبة سكر نتيجة عدم التزامه بتناول وجبات منخفضة الكربوهيدرات ؟

ⓐ (س) ⓑ (ص)
ⓒ (ع) ⓓ خليط من (ص) و(ع)

٢) أي الخيارات التالية يعبر بشكل أفضل عن الجرعة المناسبة من هذه الأنواع تبعًا لدرجة التزام المريض بالنظام الغذائي لمريض السكر؟

	المريض	نوع الإنسولين	الجرعة
ⓐ	ملتزم	إنسولين (س)	٣ مرات يوميًا
ⓑ	غير ملتزم	إنسولين (ص)	مرة واحدة يوميًا
ⓒ	ملتزم	إنسولين (ع)	مرة واحدة يوميًا
ⓓ	غير ملتزم	إنسولين (ع)	مرتين يوميًا

١٣ الشكل المقابل يعبر عن إحدى تطبيقات تكنولوجيا DNA مُعاد الاتحاد، ادرسه جيدًا ثم استنتج :

أي البدائل التالية يمثل الوظيفة البيولوجية لهذه التقنية ؟

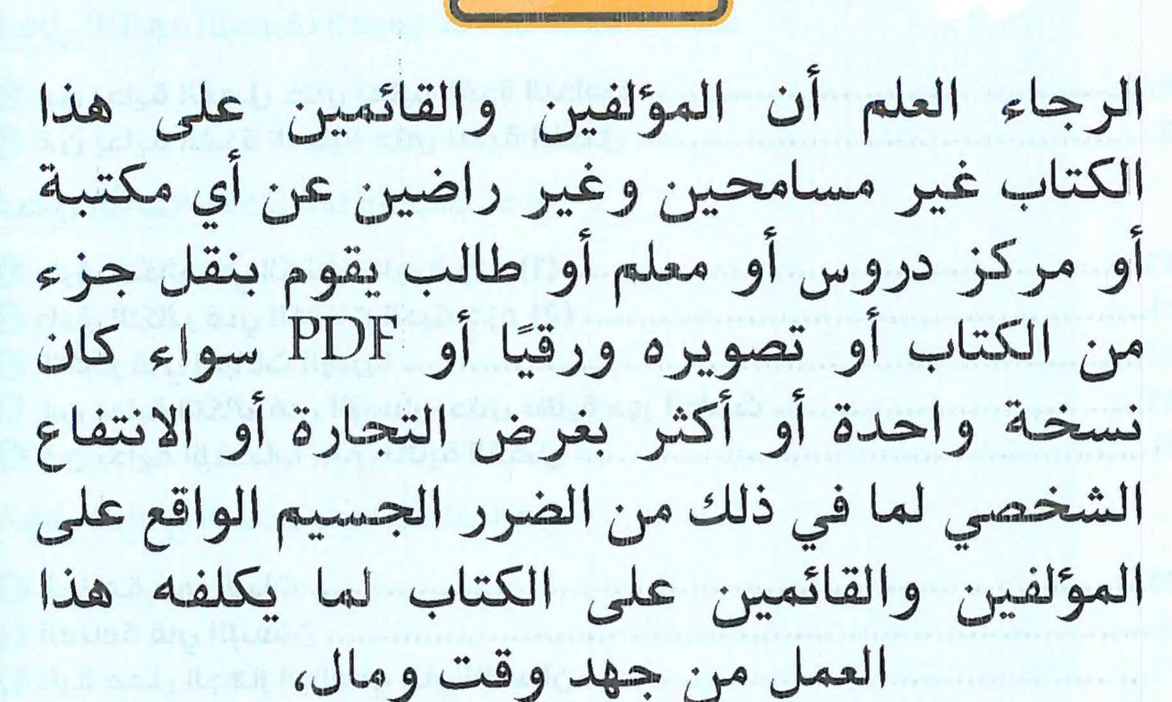
ⓐ يكسب النباتات البقولية القدرة على مقاومة المبيدات العشبية وبعض الأمراض الأخرى
ⓑ يكسب النباتات البقولية القدرة على امتصاص النيتروجين من التربة دون الحاجة لأسمدة نيتروجينية
ⓒ يكسب نباتات المحاصيل غير البقولية القدرة على تكوين البروتين دون الحاجة إلى أسمدة نيتروجينية
ⓓ يكسب كل من النباتات البقولية وغير البقولية القدرة على مقاومة الحشرات والآفات الزراعية

١٤ إذا علمت أنه أمكن الحصول على حبات أرز ذهبية اللون بنقل جين (ألفا كاروتين) من نبات الجزر، الخطوات :

A : يتم مضاعفة الجين باستخدام جهاز(PCR) .
B : باستخدام زراعة الأنسجة يمكن الحصول على نباتات كثيرة معدلة وراثيًا.
C : زراعة الجين في خلايا بعض الأوراق.
D : استخدام إنزيمات القصر البكتيرية لفصل الجين من DNA الجزر.

ما الترتيب الصحيح للحصول على أرز معدل وراثيًا ؟

ⓐ B ، C ، A ، D ⓑ C ، D ، A ، B
ⓒ A ، C ، B ، D ⓓ C ، A ، B ، D



الرجاء العلم أن المؤلفين والقائمين على هذا الكتاب غير مسامحين وغير راضين عن أي مكتبة أو مركز دروس أو معلم أو طالب يقوم بنقل جزء من الكتاب أو تصويره ورقيًا أو PDF سواء كان نسخة واحدة أو أكثر بغرض التجارة أو الانتفاع الشخصي لما في ذلك من الضرر الجسيم الواقع على المؤلفين والقائمين على الكتاب لما يكلفه هذا العمل من جهد ووقت ومال،

وسيتم اتخاذ كافة الإجراءات القانونية حيال ذلك كما ينص قانون حماية الملكية الفكرية رقم ٨٢ لعام ٢٠٠٢.

الفهرس

الباب الأول :

الفصل الأول: الدعامة والحركة في الكائنات الحية

الفصل الثاني: التنسيق الهرموني في الكائنات الحية

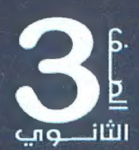
الفصل الثالث: التكاثر في الكائنات الحية

الفصل الرابع: المناعة في الكائنات الحية

الباب الثاني :

الفصل الأول: الحمض النووي DNA والمعلومات الوراثية

الفصل الثاني: الأحماض النووية وتخليق البروتين



محتوى الكتاب

- عبارات ورسومات الكتاب المدرسي بأعلى جودة ممكنة
- تطبيقات عملية وحياتية لربط ا... النظرية بالواقع العملي
- ملاحظات استنتاجية عقب كل فقرة والتي تؤهلك لحل أي سؤال
- صور توضيحية مرسومة خص... لتوضيح عبارات الكتاب المد...
- علاقات بيانية ومخططات ذهنية لتعميق الفهم
- أسئلة الأداء الذاتي عقب كل... لاختبار مدي استيعابك لكل...

متوفر الآن





التفوق 2023 كتاب الأسئلة والتدريبات في الجيولوجيا وعلوم البيئة OPEN BOOK

من إصداراتنا

كتاب الأحياء للصف الأول الثانوي

كتاب البيولوجي للصف الثالث الثانوي

يسعدنا تواصلكم معنا من خلال